



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 : 2

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



Sahibi / Owner

Prof. Dr. Halil İbrahim ZEYBEK

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Adına

On the behalf of Gümüşhane University Science and Technology Institute

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Editor in Chief

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI

Baş Editör / Executive Editor

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 / 04 / 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 ELAZZOZI-Sidi Mohamed Ben Abdellah U.
Prof. Dr. Saffet ERDOĞAN-Harran Üniversitesi
Prof. Dr. Yener EYÜBOĞLU-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Ertan GÖKALP-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU-Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK-Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Zakia HAMMOUCH-Moulay Ismail University
Prof. Dr. Cahit HELVACI-Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Muazzez ÇELİK KARAKAYA-Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Necati KARAKAYA-Selçuk Üni.
Prof. Dr. Hakan KARSLI-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Elif Çelenk KAYA-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Cemal KÖSE-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Birgül KURAL-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Murat KÜÇÜK-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Tayfur KÜÇÜKÖMEROĞLU –Karadeniz Teknik Üni.
Prof. Dr. Ramazan LİVAOĞLU-Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Nafiz MADEN-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Halim MUTLU-Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Salim Serkan NAS-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Kolade M. OWOLABI-Federal Uni. of Technology
Prof. Dr. Sultan ÖZTÜRK-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Serkan ÖZTÜRK-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Sunil PROHİT- 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 SİRAT-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Birol ŞAHİN- Recep Tayyip Erdoğan Üni
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Nuri URAL-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Uğur ŞİMŞEK-Iğdır Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yener TOP-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. İlyas KHAN- Majmaah University
Dr. Rizwan Ul HAQ-Bahria University
Dr. Chokka RAVICHANDRAN-Bharathiar University

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Düzeltilme Yazısı / Erratum

- Utku ZEYBEKOĞLU **Bulanık c ortalamalar yöntemi ile Karadeniz bölgesi standart süreli yağış şiddetlerinin kümelenmesi** **285**
Clustering of standard duration rainfall intensity of the Black Sea region by fuzzy c means method

Araştırma Makalesi / Research Article

- Muhammet Oğuz SÜNNETÇİ **Sahilkent (Bafra, Samsun) yöresindeki alüvyal zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin CPT verileri kullanılarak araştırılması** **288**
Hakan ERSOY *Investigating liquefaction potential of alluvial soils in Sahilkent (Bafra, Samsun) area using CPT data*
- Nurhan KOÇAN **Kıyı peyzaj tasarımlarının önemi ve Kurucaşile (Bartın) limanı için öneriler** **305**
Importance of coastal landscape designs and suggestions for Kurucaşile (Bartın) port
- Şeref AKAY **Production and characterization of zinc oxide nanoparticles in microsystems via green synthesis** **315**
Melike SEFAOĞLU *Yeşil sentez yoluyla mikrosistemlerde çinko oksit nanopartiküllerin üretimi ve karakterizasyonu*
- Sema ÇELİK **Kitosan-şeker pancarı posası biyokompozit sorban sisteminin anyonik boyarmadde biyosorpsiyon potansiyeli** **325**
Anionic dye biosorption of potential of chitosan-sugar beet pulp biocomposite sorbent system
- Hacı Alim BARAN **Hakkâri ili baz metal yataklarının uzaktan algılama ile belirlenmesi** **339**
Determination of base metal deposits in Hakkâri province by remote sensing
- Osman PALA **Silah hedef atama problemi için uyarlanmış yerel arama ile yeni bir melez genetik algoritma** **348**
A new hybrid genetic algorithm with local search adapted for weapon target assignment problem
- Fatih GÜRCAN **Stackoverflow gönderilerinde tartışılan trend konuların kelime frekans analizi ile belirlenmesi** **357**
Özcan ÖZYURT *Identification of trend topics discussed in stackoverflow posts by word frequency analysis*
- Ahmet Yesari SELÇUK **Preliminary data on diet of the Lesser Kestrel (Falco naumanni Fleischer) in Aralık, Iğdır province (Eastern Anatolia Region, Turkey)** **369**
Ömral Ünsal ÖZKOÇ *Aralık, Iğdır (Doğu Anadolu Türkiye)'da küçük kerkenez (Falco naumanni Fleischer) diyeti hakkında ön veri*
Ünal ZEYBEKOĞLU
Haluk KEFELİOĞLU
- Oğuz KAYABAŞI **Diş tedavisinde kullanılan post core sistemin yaklaşık çözüm yöntemleri kullanılarak optimum tasarımı** **375**
Optimum design of post core system used in dental treatment using approximate solution methods
- Asena ÇETİNKAYA **Mittag-Leffler fonksiyonunu içeren analitik fonksiyonların bazı özellikleri** **384**
Oya MERT *Some properties of analytic functions involving the Mittag-Leffler function*
- İbrahim TURNA **Kentsel yeşil alanların peyzaj ve eko-silvikültürel yönden incelenmesi: Trabzon örneği** **394**
Tuğba SEVİMLİ *Investigation of urban green areas from landscape and eco-silvicultural aspects: the sample of Trabzon*
Nebahat YILDIRIM
- Mahmut FIRAT **Su kayıp yönetimi için temel hesaplama araçlarının geliştirilmesi ve temel su kayıp bileşenlerinin analizi** **405**
Salih YILMAZ *Development of basic analysis tools for water loss management and analysis of basic water loss components*
Cansu BOZKURT
- Fatma YEŞİL BARAN **The eigenvalues of circulant matrices with generalized tetranacci numbers** **417**
Genelleştirilmiş tetranacci sayıları ile tanımlı circulant matrislerin özdeğerleri

Fatih KANTARCI	Lif boyunun ve içeriğinin geopolimer betonların asit direncine etkisi <i>The effect of fiber length and content on acid resistance of geopolimer concrete</i>	424
Aslıhan YILDIZ Selin SONER KARA Coşkun ÖZKAN	Sağlık kurumlarının ve eczanelerin taleplerine yönelik ecza deposu yer seçimi problemi <i>Pharmaceutical warehouse site selection problem considering the demands of medical institutions and pharmacies</i>	452
Mustafa EKEN	Farklı mineral ve tarımsal atık kaplamalı betonarme donatıların ve katkılı betonların korozyon performansının incelenmesi <i>Investigation of corrosion performance of different mineral and agricultural waste coated reinforced concrete reinforcements and additive concrete</i>	466
Mem ÇİFTÇİ Serhat DEMİRHAN	Effect of nano type and slag replacement level on cement mortars <i>Nano tipi ve granüle yüksek fırın cürufu ikame oranının çimento harçlarına olan etkisi</i>	482
Yusuf MAZLUM Halim Ferit BAYATA Fatih İrfan BAŞ Muhammet Ali ÇOLAK Ünsal BAYRAK	Analysis of car park etudes with different statistical methods and modeling with GIS: Erzincan province case <i>Otopark etütlerinin farklı istatistiksel yöntemler ile analizi ve CBS ile modellenmesi: Erzincan ili örneği</i>	497
Asena KARSLIOĞLU Mehmet Hanifi ALKAYIŞ Mehmet İnanç ONUR	Sentinel-1 uydusu ile deprem kaynaklı yüzey çökme analizi: Sivrice-Doğanyol-Pütürge örneği <i>Earthquake induced surface subsidence analysis with Sentinel-1 satellite: Sivrice-Doğanyol-Pütürge</i>	510
Mehmet ARSLAN	Düzgün yıldız çokgenlerde çizgiler ve koordinatlar <i>Lines and coordinates in regular star polygons</i>	522
Sevgi ÖZEN	Volkanik tüf esashı geopolimerlerin basınç dayanımına kür süresi ve sıcaklığın etkileri <i>Effect of curing time and temperature on compressive strength of volcanic tuff-based geopolimer</i>	530
Burak GÜZELCE Gökay BAYRAK	Developing a real-time pattern matching algorithm using artificial neural network for a reliable quality control in industrial applications <i>Endüstriyel uygulamalarda güvenilir bir kalite kontrolü için yapay sinir ağı kullanan gerçek zamanlı bir desen eşleştirme algoritmasının geliştirilmesi</i>	537
Murat KARA	Kalın ve katmanlı kompozit plakaların temel doğal frekansının mekanik özelliklerin küçük değişimlerine duyarlılığı <i>Sensitivity of fundamental natural frequency of thick and laminated composite plates in small changes of mechanical properties</i>	547
Hacı Mehmet GÜZEY	Hastane kapasitesini aşmayacak şekilde Covid-19 yayılımının geri adımılamalı kontrolü <i>Back-stepping control of Covid-19 spread not to exceed hospital capacity</i>	554
Serdar AYDIN	Ag katkılı CdO ince filmlerinin sıcak püskürtme tekniği ile büyütülmesi ve yapısal incelemesi <i>Growth and structural characterization Ag doped CdO thin films by spray pyrolysis technique</i>	566
Erdal ÇILGIN	Investigation of the usability of essential oils in diesel engines as a new biodiesel source <i>Yeni bir biyodizel kaynağı olarak uçucu yağların dizel motorlarda kullanılabilirliğinin araştırılması</i>	573
Temel VAROL Serhatcan Berk AKÇAY Onur GÜLER	Akımsız kaplama yöntemi ile Cu-Ag bimetal parçacıkların üretimi ve karakterizasyonu <i>Fabrication and characterization of Cu-Ag bimetal particles by electroless coating method</i>	586
Mesut GÖR	Limit denge analizi (Bishop Yöntemi) ile kütle hareketinin mekanizması ve önlem yapısının analizi: Van ili örneği <i>The analysis of mass movement mechanism using limit equilibrium method (Bishop Method) and the analysis of retaining structure: a case study for Van province</i>	597
Mustafa TAŞYÜREK Şerafettin EKİNCİ	Deniz içi nakil hatlarında polimer esashı CNT takviyeli kompozit boruların kullanılabilirliği <i>Usability of polymer based CNT reinforced composite pipes in marine transport lines</i>	609
Gonca ÇELİK	Synthesis and structural characterization of novel pyrazoline derivatives <i>Yeni pirazolin türevlerinin sentezi ve yapı karakterizasyonu</i>	622

Tuncay KARAKURT	Cu ve Fe Metalleri için tiyadiazol türevi bileşiklerin kuantum kimyasal hesaplamaları ve korozyon inhibisyon aktiviteleri <i>Quantum chemical calculations and corrosion inhibition activities of thiadiazole derivative compounds for Cu and Fe metals</i>	629
-----------------	---	------------

Derleme Makalesi / Review Article

Cüneyt DOĞAN İsmail DEMİR	Polymer fibers and effects on the properties of concrete <i>Polimer lifler ve beton özelliklerine etkileri</i>	438
------------------------------	--	------------

Bulanık c ortalamalar yöntemi ile Karadeniz bölgesi standart süreli yağış şiddetlerinin kümelenmesi

Clustering of standard duration rainfall intensity of the Black Sea region by fuzzy c means method

Utku ZEYBEKOĞLU*^{1,a}

¹Sinop Üniversitesi, Boyabat Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 57200, Boyabat, Sinop

• Geliş tarihi / Received: 19.01.2021 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 26.02.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 28.02.2021

Düzeltilme

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi'nin sekizinci cildinin birinci sayısında yer alan "Zeybekoğlu, U. (2018). Bulanık C Ortalamalar Yöntemi ile Karadeniz Bölgesi Standart Süreli Yağış Şiddetlerinin Kümelenmesi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(1), 147-154. doi: 10.17714/gumusfenbil.334693" referanslı makalede yazar tarafından kaynakçada ve metin içerisinde yer almasına rağmen makale içerisinde bazı yerlerde bir referansın makale hazırlanma aşamasındayken sehven unutulduğu fark edilmiştir. Yapılan bu hatadan dolayı okuyucularımızdan özür dileriz. Bu düzeltme yazısında ilgili makalenin metin içerisinde sehven unutulmuş atıfları kapsayan yerler sunulmuştur.

Erratum

In the article with "Zeybekoğlu, U. (2018). Clustering of Standard Duration Rainfall Intensity of the Black Sea Region by Fuzzy c Means Method. Gümüşhane University Journal of the Science and Technology Institute, 8(1), 147-154. doi: 10.17714 / gumusfenbil.334693" citation information which was published in the first issue of the eighth volume of the Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute, the author unintentionally forgotten a reference in some parts of the article while the article was being prepared, although it is included in the references and in the text. We apologize to the readers for the mistake. In this erratum, an unintentionally forgotten citation is presented in some parts of the text of the related article.

Orijinal Makalenin DOI numarası: 10.17714/gumusfenbil.334693

*^a Utku ZEYBEKOĞLU; utkuz@sinop.edu.tr, Tel: (0368) 315 01 01, orcid.org/0000-0001-5307-8563

1. Giriş

Yağışın süresi, şiddeti, alansal ve zamansal değişimi vb. özelliklerinin bilinmesi; su kaynakları, tarım, kentleşme, drenaj, taşkın kontrolü ve ulaşım gibi farklı sektörler için planlama çalışmaları ile bu sistemler üzerindeki çeşitli mühendislik yapılarının güvenli ve ekonomik olarak boyutlandırılması ve işletilmesi için gereklidir. Hidro-meteorolojik verilerin (yağış, akış, buharlaşma, sıcaklık...) eksiksiz ve düzenli olarak kayıt altına alınması birçok sektör açısından önem arz etmektedir. Bu kayıtlar ile ilgili yapılmış basılı son çalışma DSİ ve DMİ tarafından 1990 yılında yapılmıştır ve güncel verileri içermediğinden sağlıklı çalışmalar gerçekleştirilememektedir (Karahana, 2011).

Kümeleme analizinde genel olarak, aynı özelliklere sahip benzer verilerin bir araya toplanması ve ortak bir grup altında sınıflandırılması esas alınmaktadır. Her bir küme bir küme merkezi ile ifade edilmekte ve küme merkezinin yakınındaki veri noktaları gruplandırılarak o kümeye dahil edilmektedir. Bu işlem, veri noktaları ile küme merkezleri arasında hesaplanan uzaklıkların minimize, küme merkezleri arasındaki uzaklıkların ise maksimize edilmesi esasına dayanmaktadır (Karahana, 2011).

Hidrolojik kümeleme çalışmalarında, hidro-meteorolojik veriler yerine coğrafi özellikler kullanıldığından, bu çalışmalar sonucu elde edilen kümeler hidrolojik açıdan homojen olmazlar. Hidro-meteorolojik verilerin coğrafi konum ile birlikte kullanılması hidrolojik kümeleme çalışmalarının daha iyi sonuç vermesini sağlayabilmektedir.

Ülkemizde ve dünyada hidrolojik kümelerin belirlenmesi üzerine birçok araştırmacı farklı hidro-meteorolojik veriler üzerine farklı kümeleme yöntemleri kullanarak homojen kümeleri belirlemişlerdir. Bu çalışmalardan başlıcaları Mosley (1981), Acreeman ve Sinclair (1986), Burn (1989, 1997, 2000), Lecce (2000), Burn vd. (1997), Guttman, (1993), Soltani ve Modarres, (2006), Demirel (2004), Turan (2005), Kâhya vd. (2007), Demirel vd. (2007), Isik ve Singh (2009), Karahana (2011), Fırat vd. (2012; 2013), Dikbaş vd. (2012), Alemaw ve Chaoka (2016) gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarıdır.

Ancak yazarın literatür araştırması sonucunda yağış şiddetleri verileri kullanarak yapılmış kümeleme çalışmalarının sınırlı sayıda bulunduğu görülmüştür.

Önerilen bu çalışmada Bulanık C Ortalamalar kümeleme yöntemi kullanılarak Karadeniz bölgesindeki istasyonların Standart Süreli Yağış Şiddeti (SSYŞ) verilerine göre homojen alt bölgelere ayrılması amaçlanmaktadır. Bunun için Karadeniz bölgesinde yer alan 15 ile ait 18 meteoroloji gözlem istasyonuna ait veriler kullanılmış olup kümeleme analizi gerçekleştirilmiştir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Bulanık c ortalamalar

Bu çalışmada ortak özellik taşıyan veri setlerinin kümeleme işlemi, literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan Bulanık C-Ortalamalar (Fuzzy C-Means) yöntemi kullanılarak yapılmıştır (Bezdek, 1981; Karahana, 2011).

Fuzzy c-means algoritmasının en önemli özelliği olan üyelik matrisinin kümeleme üzerinde olumlu etkileri vardır. Bu matris belirsiz durumların tanımlanmasını kolaylaştırır (Azem, 2013). Ayrıca üyelik dereceleri düşük olduğundan sıra dışı verilerin etkisi azdır. Esnek bir yapıya sahiptir. Örtüşen kümeleri bulma kabiliyeti diğer bölümlü algoritmalara göre daha fazladır.

Bulanık c-ortalama yönteminde, kümeleme işlemi tanımlanan bir amaç fonksiyonunun minimize edilmesiyle yapılmaktadır. Yöntem, aşağıdaki hesap adımlarına göre kümeleme işlemini yapmaktadır (Karahana, 2011).

$X = \{x_j\}_{j=1}^n \subseteq R^d$ kümelenecek n adet veri setini

ve c küme sayısını göstermek üzere, X veri setinin c adet kümeye bölünebilmesi için $c \times n$ boyutunda ve aşağıdaki koşulları (Denklemler 1-3) sağlayan üyelik fonksiyonu matrisinin, $U = [u_{ij}]$

başlangıçta rastgele olarak oluşturulmaktadır (Karahana, 2011).

$$0 \leq u_{ij} \leq 1; i = 1,2,3,\dots,c; j = 1,2,3,\dots,n \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^c u_{ij}; j = 1,2,3,\dots,n \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n u_{ij} > 0; i = 1,2,3,\dots,c \quad (3)$$

Denklemler 1-3'te, u_{ij} , i-nolu küme merkezinden j-nolu veri noktasına olan üyelik değerini göstermektedir. Hesaplanan üyelik değerleri

kullanılarak aşağıdaki amaç fonksiyonunun (Denklem 4) minimize edilmesiyle kümeleme işlemi yapılmaktadır (Karahan, 2011).

$$J_m(U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^m \|x_j - v_i\|^2 \quad (4)$$

Denklem 4'te m üyelik değerlerinin ağırlıklarını ayarlamakta kullanılan bulanıklık terimini ($1 \leq m \leq 2$), $\|\bullet\|$, normu ve $V = \{v_i\}_{i=1}^c \subset R^d$ i

se her bir küme merkezini içeren çözüm vektörünü göstermektedir. Bu çalışmada; Öklid normu kullanılmıştır (Karahan, 2011). Küme merkezleri, Denklem 4'ün V'ye göre kısmi türevinin alınıp sıfıra eşitlenmesiyle Denklem 5'teki gibi hesaplanmaktadır (Karahan, 2011).

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m} \quad i = 1, 2, 3, \dots, c \quad (5)$$

Bu aşamadan sonra, hesaplanan küme merkezleri için yeni uygunluk değerleri, Denklem 4'ün U'ya göre kısmi türevinin alınarak sıfıra eşitlenmesi sonucu Denklem 6 kullanılarak hesaplanmaktadır (Karahan, 2011).

$$u_{ij} = \left(\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_j - v_k\|}{\|x_j - v_i\|} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right)^{-1} \quad i = 1, 2, 3, \dots, c; j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

Denklem 6 kullanılarak güncellenen üyelik değerleri ile Denklem 4 ile 6 arasındaki işlemler tekrar yapılmakta ve aşağıda tanımlanan durma

koşulu sağlanıncaya kadar devam etmektedir (Karahan, 2011).

$$\|V^{(l+1)} - V^{(l)}\| < \zeta \quad (7)$$

Denklem 7'de, $V^{(l+1)}$ ve $V^{(l)}$ değerleri sırasıyla $l+1$ ve l -inci iterasyonlardaki küme merkezlerini, ζ ise iki iterasyon arasında sağlanması gereken hoşgörü değerini ifade etmektedir (Karahan, 2011).

Bulanık C Ortalamalar yöntemi ile literatürde kullanılan diğer kümeleme yöntemlerinin tümünde karşılaşılan en önemli sorun, hesap başlangıcındaki küme sayısının seçilmesidir. Ancak, gerçekte küme sayısının ne olması gerektiği de bilinmeyen olup, veri setine bağlı olarak değişim göstermektedir (Karahan, 2011).

Bu nedenle, küme sayısının değerini belirlemek için çeşitli indeksleme yaklaşımları geliştirilmiş ve küme sayıları bu indeks değerlerine göre belirlenmiştir (Pal vd., 1995; Velthuzien vd., 1997; Sugar ve James, 2003; Shen vd., 2005; Zhang vd., 2008; Karahan, 2011). Bu indeksleme yöntemlerinde maksimum küme sayısının önceden seçilmesi gerekmektedir. Ancak; maksimum küme sayısının belirlenmesinde araştırmacılar arasında genel bir uzlaşma bulunmamasına rağmen, araştırmacıların çoğunluğunun maksimum küme sayısının istasyon sayısının karekökünden küçük olması gerektiği konusunda uzlaştıkları Zhang vd. (2008) tarafından ifade edilmektedir (Karahan, 2011).

Sahilkent (Bafra, Samsun) yöresindeki alüvyal zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin CPT verileri kullanılarak araştırılması

Investigating liquefaction potential of alluvial soils in Sahilkent (Bafra, Samsun) area using CPT data

Muhammet Oğuz SÜNNETCİ^{*1,a}, Hakan ERSOY^{1,b}

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 17.10.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 31.12.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 15.01.2021

Öz

Bu çalışmada Sahilkent (Bafra, Samsun) yöresindeki kil, silt ve kum boyutlu malzemelerden oluşan alüvyal zeminlerin sıvılaşma potansiyeli CPT verileri kullanılarak araştırılmıştır. Çalışma kapsamında Bafra ilçesi genelinde her biri 15 metre derinliğinde 20 adet sondaj yapılmış, bunlardan Sahilkent yöresindeki 5 tanesinden UD tip örnek alıcılarla her 1 metrede 1 adet olacak şekilde örselenmemiş zemin örnekleri temin edilmiştir. Bu örneklerden silt ve kum oranı yüksek olan 20 tanesi üzerinde ıslak elek, hidrometre, plastik limit, likit limit ve doğal su muhtevası tayinleri yapılmıştır. Yapılan ön değerlendirmede farklı derinliklerdeki bazı bölgelerde sıvılaşma potansiyelinin olduğu belirlenmiş ve detaylı sıvılaşma analizlerin yapılabilmesi amacıyla 5 sondaj kuyusunun 1'er metre yakınında 15'er metrelik CPTu deneyi uygulanmıştır. CPTu deneylerinde koni uç direnci, kenar sürtünmesi, efektif gerilme, rölatif sıklık vb. veriler her 5 cm'de bir kaydedilmiş, sıvılaşma analizlerinde bu verilerin her 1 metre derinlik için ortalamaları alınmıştır. Sıvılaşma analizleri Mw=7.2'lik bir deprem senaryosu için yapılmış ve çalışma alanındaki 15 metrelik zemin katmanının sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda Sahilkent yöresinde Mw=7.2'lik bir deprem senaryosu için herhangi bir sıvılaşma olayının gerçekleşmeyeceği belirlenmiştir. Alüvyon malzemesinin ince daneli malzeme oranının yüksek olması, var olan kum ve siltli kum seviyelerinin ise çok sıkı ince daneli zemin katmanları arasında yer almasının zeminin sıvılaşmaya karşı mukavemetini arttırdığı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Alüvyon, Bafra kıyı ovası, CPT, Sıvılaşma, Zemin

Abstract

In this study, liquefaction potential of the alluvial soils consisting of clay, silt, and sand sized materials in Sahilkent (Bafra, Samsun) area was investigated using CPT data. Within the scope of the study, 20 boreholes each having a depth of 15 meters were drilled throughout Bafra district, and one undisturbed soil sample were obtained per meter from 5 of these boreholes located in Sahilkent area. Wet sieve, hydrometer, plastic limit, liquid limit, and natural water content determinations were conducted on 20 samples with high silt and sand content. In the preliminary evaluation, it was determined that there is a liquefaction potential in some regions at different depths, and in order to perform detailed liquefaction analyses, 15-meter-deep CPTu were carried out in 1 meter distance from those 5 borehole locations. In CPTu tests, data including cone tip resistance, sleeve friction, effective stress, relative stiffness, etc. were recorded every 5 cm, and average values of these data for each meter depth were used in the liquefaction analysis. Liquefaction analyses was conducted for an earthquake scenario of Mw = 7.2 and the liquefaction potential of the 15-meter soil layer in the study area was determined. As a result of the analyses, it was determined that no liquefaction will occur for an earthquake scenario of Mw = 7.2 in Sahilkent region. It is thought that high fine-grained content of the alluvium, and the fact that existing clean sand levels are located between fine-grained soil layers increase the resistance of the soil against liquefaction.

Keywords: Alluvium, Bafra coastal plain, CPT, Liquefaction, Soil

^{*a} Muhammet Oğuz SÜNNETCİ; moguzsunnetci@ktu.edu.tr, Tel: (0462) 377 35 05, orcid.org/0000-0002-5215-3143

^b orcid.org/0000-0001-5556-547X

1. Giriş

Sıvılaşma, suya doymuş granüler zeminlerin sismik yükler altında tekrarlı gerilmelere maruz kalarak zemin iskeletinin yeniden düzenlenmesi, bu sırada boşluk suyu basıncının aşırı derecede yükselerek toplam gerilmeye eşit olması sebebiyle efektif gerilmenin sıfıra düşmesi ve zeminin bir sıvı gibi davranması olarak tanımlanmaktadır. Sıvılaşma sırasında zeminin kayma dayanımı önemli ölçüde azalmakta ve zemin yapısında büyük deformasyonlar meydana gelmektedir. Genellikle sismik yükün kalkmasıyla birlikte sıvılaşma olayının zemin üzerindeki etkisi de sonra ermekte, zemin kayma mukavemetini geri kazanmaktadır (Marcuson, 1978).

Sıvılaşma olayı 1964 yılında Japonya’da meydana gelen Niigata depreminin ardından yerbilimleri dünyasının dikkatini çekmiştir. Niigata depremi sonrasında bilim insanları, zarar gören binaların çok büyük bir kısmının gevşek ve suya doymuş zeminler üzerinde inşa edilmiş olduğunu, ayrıca bu binaların çoğunun çok düşük yapısal hasarlarla devrildiğini veya zemine gömüldüğünü fark etmişlerdir. Aynı yıl Kanada’da meydana gelen 9.2 büyüklüğündeki Alaska depreminin ardından benzer olayların gözlenmesiyle birlikte sıvılaşma olayı mühendisler ve sismologlar tarafından araştırılmaya başlanmıştır (Davis, 1960; Seed ve Wilson, 1967).

Sıvılaşma olayının belli zeminlerde ve belli koşullar altında geliştiği bilinmektedir (Seed ve Wilson, 1967; Seed ve Idriss, 1971; Iwasaki vd., 1984). Zemin malzemesinin kohezyonu, plastisitesi, rölatif sıklığı, dane dağılımı ve drenaj durumu sıvılaşma potansiyelini doğrudan etkileyen etmenlerdir. Literatürde düşük kohezyonlu siltli zeminlerde, kohezyonsuz kumlu zeminlerde ve az da olsa çakıllı zeminlerde sıvılaşma olayının gerçekleştiği ortaya konmuştur (Youd vd., 1985). Zemin türünden bağımsız olarak boşluk suyu basıncının yükselmesine neden olacak geçirimsiz tabakaların ve sismik bir yükün varlığı sıvılaşma olayının gerçekleşmesinde en önemli faktörlerdir. Seed ve Idriss (1982) tarafından önerilen Çin Kriterine göre bir zeminin sıvılaşabilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması gereklidir:

1. Ağırılıkça kil yüzdesi < %15 olmalı.
2. Likit limit < %35 olmalı.
3. Doğal su muhtevası likit limitin 0.9 katından daha yüksek olmalı.

Bray vd. (2004) bu kriterin her zaman geçerli olmadığını 1999 Kocaeli depreminden etkilenen

Adapazarı’nda yaptıkları çalışmalarla göstermişlerdir. Bu çalışmada Çin Kriterine uymayan birçok zemin katmanının sıvılaşma gösterdiği belirtilmiştir. Önalp ve Arel (2002) ve Bol vd. (2010), Çin Kriterini 1999 Kocaeli depreminden sonra Adapazarı siltlerine uyarlamışlar ve çeşitli değişiklikler önermişlerdir.

Zeminlerin sıvılaşma potansiyelini irdelemek üzere birçok yöntem ortaya atılmıştır (Seed ve Idriss 1971; Dobry vd., 1981; Seed vd., 1981; Iwasaki vd., 1984). Bu yöntemler temelde zemine etkileyen tekrarlı kayma oranının (CSR) zeminin tekrarlı dayanım oranı (CRR) ile kıyaslanmasına dayanmaktadır. Herhangi bir zemin için CSR>CRR olduğunda bu zemin sıvılaşma potansiyeline sahip olarak değerlendirilmektedir. Zeminlere ait CRR değeri laboratuvar veya arazi deneyleriyle belirlenebilmektedir. Çevirmeli üç eksenli, çevirmeli direkt kesme ve çevirmeli torsiyon deneyleri en çok tercih edilen laboratuvar deneyleriyken, arazide standart penetrasyon testi (SPT), koni penetrasyon testi (CPT) ve jeofizik ölçümler (kayma dalgası hızı, V_s) kullanılmaktadır. SPT’nin özellikle örnek alıcı aparata iletilen enerjiye bağlı olarak zaman zaman tutarsız sonuçlar verebilmesi (Robertson ve Wride, 1998), buna karşılık CPT’nin daha tekrarlanabilir ve sürekli veri alınmasına izin veren bir yöntem olması sıvılaşma potansiyeli araştırmalarında CPT verilerinin kullanımını son yıllarda önemli ölçüde artırmıştır (Dobry vd., 2019; Kurnaz ve Kaya, 2019; Ntritos ve Cubrinovski, 2020). Birçok araştırmacı (Robertson ve Campanella, 1985; Seed ve de Alba, 1986; Shibata ve Teparaska, 1988; Stark ve Olson, 1995) CPT verileri ile temiz kum ve siltli zeminlerin CRR değerleri arasında bağıntılar önermişlerdir. 1996 yılında Birleşik Devletler Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırmaları Merkezi (NCEER) tarafından Utah’ta düzenlenen sıvılaşma çalıştayında Robertson ve Wride (1998) tarafından arazi verileri ve edinilen tecrübeler ışığında CPT’nin sıvılaşma potansiyeli araştırmalarında kullanılması amacıyla önerilen metodoloji gerek proje mühendisleri gerekse de bilim insanları tarafından benimsenmiştir (Youd ve Idriss 2001).

Ülkemizde yapılan sıvılaşma riski/potansiyeli araştırmalarında CPT deney verilerinin kullanıldığı çalışmalar olsa da (Sönmez vd., 2015; Sert vd., 2018), SPT deney verilerinin kullanıldığı çalışmalar çok daha fazladır (Duman, 2013; Esin, 2015; Işık vd., 2016; Ateş, 2017). Söz konusu deneylerden elde edilen verilerin kalitesi ve tekrarlanabilirliği göz önüne alındığında bu durumun bir eksiklik olduğu söylenebilir.

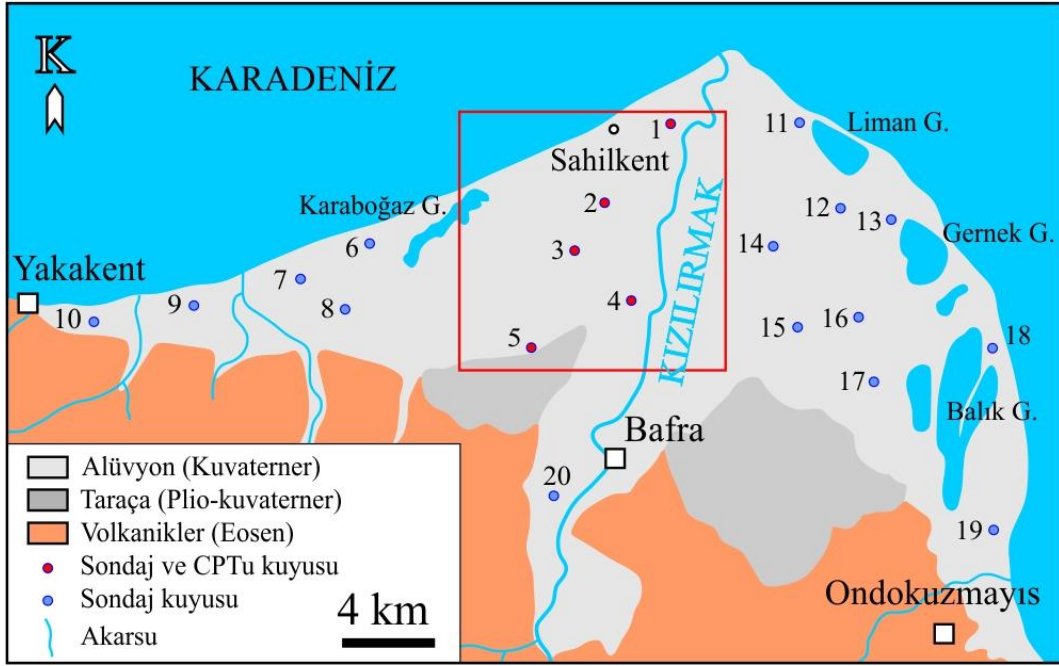
Marmara Bölgesi'nin gerek sismik faaliyetlerin yoğun olması gerekse de Adapazarı silti gibi granüler zeminlerin geniş bir alanda yüzeyleme vermesinden dolayı sıvılaşma riski yüksek olan bir bölge olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte Karadeniz Bölgesi'nin sahil kesiminde geniş bir alana yayılan siltli-kumlu alüvyon zeminlerin varlığı ve bu bölgenin Kuzey Anadolu Fayı'na yakın olması nedeniyle sıvılaşma riski bakımından araştırılması gereken bir bölge olduğu da ortadadır. Özellikle Samsun ve Ordu illerinde sıvılaşma riski taşıyan zeminler üzerine yapılan çalışmalar mevcuttur. Ertek (2015) tarafından yapılan çalışmada Atakum ilçesinin sıvılaşma potansiyeli ve buna bağlı muhtemel oturmalar belirlenmiş, sıvılaşma analizlerinde SPT deney verileri kullanılmıştır. Öztürk (2016) tarafından yapılan çalışmada Tekkeköy bölgesinin sıvılaşma potansiyeli SPT deney verilerini kullanarak Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre belirlenmiştir. Dipova ve Cangir (2017) yaptıkları çalışmada CPT deneylerinin istenilen derinliklere ulaşamaması sebebiyle sıvılaşma analizlerinde SPT deney verilerini kullanmak durumunda kalmışlardır.

Bu çalışmada jeolojik, jeomorfolojik ve sismolojik özellikler bakımından sıvılaşma potansiyeline sahip olan Samsun ili Bafra ilçesi Sahilkent yöresindeki alüvyal zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin CPT deney verileri kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanının tamamını kaplayan alüvyon malzemesi kil, silt ve kum boyutlu malzemelerden oluşmaktadır. Özellikle silt ve kumlu zeminlerin sıvılaşma potansiyeli taşıdığı bilinmekle birlikte, son zamanlarda yapılan çalışmalar killi zeminlerde dahi sıvılaşma olayının belli koşullar altında gelişebileceğini göstermiştir (Bilge ve Çetin, 2017). Bölgede akarsu tarafından beslenen yeraltı suyu seviyesinin yüzeyden itibaren yaklaşık 2 metre veya daha sığ derinliklerde olması ve birçok yerleşim yerinin bulunması bölgenin sıvılaşma potansiyeli açısından araştırılması gerekliliğini doğurmaktadır. Bu amaç doğrultusunda aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır:

- Bafra ilçesinin farklı bölgelerinde 15 metre derinliğinde 20 adet sondaj çalışması yapılmış ve Sahilkent yöresindeki 5 adet sondajdan her metrede bir adet olacak şekilde örselenmemiş zemin örnekleri alınmış,
- Zemin örneği alınan sondaj kuyularına yakın olacak şekilde (yatay mesafe < 1 m) 5 adet boşluk suyu basıncı ölçümlü Koni Penetrasyon Tesi (CPTu) çalışması yapılarak sıvılaşma analizlerinde kullanılacak olan parametreler elde edilmiş ve aynı zamanda zemin davranış tipi profili belirlenmiş,
- Alınan zemin örneklerinden silt ve kum oranı yüksek olan 20 örnek üzerinde ıslak elek, hidrometre, likit limit, plastik limit ve doğal su muhtevası deneyleri yapılmış,
- Tüm veriler ışığında Youd ve Idriss (2001) tarafından derlenen yöntemle göre sıvılaşma analizleri yapılmış,
- Son olarak Iwasaki (1978) tarafından önerilen yöntemle çalışma alanının sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir.

2. Çalışma alanının jeolojisi

Çalışma alanı Samsun ili Bafra ilçesinin 12 km kuzeybatısındaki Sahilkent yöresidir (Şekil 1). Ülkemizin en büyük ikinci drenaj alanına sahip nehri olan Kızılırmak'ın denize döküldüğü Bafra'da nehrin taşıdığı alüvyon malzemesi çok geniş bir alanda yüzeyleme vermektedir. Çalışma alanındaki en genç birim olan bu alüvyon malzemesi Geç Kuvaterner (Holosen) yaşlı yeni alüvyon ve Erken Kuvaterner (Pleistosen) yaşlı eski alüvyon olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Eski alüvyon Kızılırmak'ın sağ ve sol sahillerinde seki ve taraçalar şeklinde gözlenirken yeni alüvyon Karadeniz kıyısına kadar uzanan sulak alanları ve düzlükleri oluşturmaktadır. Her iki birimin yüzeylendiği bölge ise güncel delta düzlüğü veya Bafra kıyı ovası olarak isimlendirilmektedir (Turoğlu, 2010). Bu birimlerin altında Eosen yaşlı volkanik kayalar yer almaktadır (Temizel vd., 2016; Fırat Ersoy ve Karaca, 2019).



Şekil 1. Çalışma alanının jeoloji haritası ile sondaj ve CPT lokasyonları

3. Malzeme ve yöntem

3.1. Sondaj çalışmaları

Çalışma kapsamında 15 metre derinliğinde 20 adet sondaj yapılmış ve çalışma alanı olan Sahilkent yöresindeki 5 adet sondajdan her bir metrede 1 adet örselenmemiş zemin örneği temin edilmiştir. Örnekler özel olarak yaptırılan 60 cm uzunluğunda (maksimum örnek uzunluğu 50 cm) ince yanaklı UD tip örnek alıcılarla alınmış ve alınan örnekler hemen alt ve üst yüzeyleri parafinlenerek streç filme sarılmıştır (Şekil 2). Örselenmemiş örnek alımından sonra sondaj tabanında kalan diğer 50 cm'lik kısım örselenme etkisini ortadan kaldırmak amacıyla auger ile geçildikten sonra sıradaki örselenmemiş örnek temin edilmiş, böylece her 1 metrede 1 adet 50 cm uzunluğunda örselenmemiş örnek alınmıştır. Elde edilen örnekler üzerinde ASTM standartlarına (ASTM, 2009, 2010, 2011) uygun olarak ıslak elek analizi, hidrometre, likit

limit, plastik limit ve doğal su muhtevası tayinleri yapılmıştır.

3.2. CPT çalışmaları

Çalışma kapsamında Sahilkent yöresinde 5 adet CPT yapılmış (Şekil 2), CPT lokasyonları bu bölgedeki 5 adet sondaja yakın olacak şekilde (yatay mesafe ≤ 1 m) seçilmiştir. Zemine ait CSR değerinin hesaplanmasında efektif gerilme değerleri kullanılacağı için CPT deneyleri piezokoni (CPTu) adı verilen, koni uç direnci ve kenar sürtünmesine ek olarak gözenek suyu basıncını da ölçebilen koni kullanılarak yapılmış ve tüm kuyularda 15 metre derinliğe inilmiştir. Deney sırasında koni uç direnci, kenar sürtünmesi, gözenek suyu basıncı ve rölatif sıkılık dahil olmak üzere alüvyon malzemesine ait birçok parametre her 5 cm'de bir kaydedilmiştir. Sıvılaştırma analizlerinde bu veriler her 1 metre derinlik için ortalamaları alınarak kullanılmıştır.



Şekil 2. (a) Alınan örselenmemiş zemin örneklerin parafınle kaplanması. (b) CPTu deneylerinde kullanılan Gouda® mobil CPT cihazı

CPT verileri kullanılarak yapılan sıvılaşma analizlerinde Youd ve Idriss (2001) tarafından derlenen metodoloji kullanılmıştır. Bu metodoloji temel olarak Robertson ve Wride (1998) tarafından önerilen yöntemi esas alsa da başka araştırmacıların önerilerini de kapsamaktadır. Yöntemin detaylı açıklaması CPT Verileri ile Sıvılaşma Analizi bölümünde verilmiştir.

3.3. CPT verileri ile sıvılaşma analizi

CPT 1930'lu yıllarda ilk kez uygulanmış olsa da (Huizinga, 1942; Plantema, 1948) günümüzdeki halini 1960'ların ikinci yarısından itibaren alan ve giderek daha yaygın olarak kullanılmakta olan bir arazi deneyidir. Begemann (1969) koni ucundaki direncin belirlenmesine ek olarak konik ucun kenarına eklediği adhezyon kaplamasıyla kenar sürtünmelerini de hesaplamayı başarmış ve bu şekilde uç direnci/kenar sürtünmesi oranını kullanarak zemin katmanlarının sınıflandırılabilmesini sağlamıştır. Senneset ve Janbu (1985) koni ucuna boşluk suyu basıncını ölçen bir aparat yerleştirerek kumlu ve killi zeminlerin efektif kayma direnci parametrelerini belirlemiştir. 1980'li yıllardan itibaren ise CPT verileri zeminlerin sıvılaşma tehlikesinin belirlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır (Robertson ve Campanella, 1985; Shibata ve Teparaska, 1988). Neredeyse 70 yıllık arazi deneyimi, vaka çalışması ve gözlem birikimi ile CPT deneyi günümüzde zeminlere ait CRR değerinin arazide belirlenmesinde kullanılan en yaygın ve güvenilir deney haline gelmiştir (Dobry

vd., 2019; Kurnaz ve Kaya, 2019; Ntritsos ve Cubrinovski, 2020).

CPT verileri yardımıyla 7.5 büyüklüğündeki bir deprem için zemine ait CRR değeri aşağıdaki eşitliklerle belirlenebilmektedir (Robertson ve Wride, 1998):

$$(q_{cIN})_{cs} < 50 \text{ ise } CRR_{7.5} = 0.833 [(q_{cIN})_{cs}/1000] + 0.05$$

$$(q_{cIN})_{cs} \leq 160 \text{ ise } CRR_{7.5} = 93 [(q_{cIN})_{cs}/1000]^3 + 0.08$$

burada;

$(q_{cIN})_{CS}$: Temiz kum için normalize koni uç direnci,

$CRR_{7.5}$: Mw=7.5 depremler için zemine ait tekrarlı dayanım oranıdır.

Seed and Idriss (1971) bir deprem durumunda zemine etkiyecek olan CSR değerini belirlemek için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir:

$$CSR = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) r_d \quad (1)$$

burada; a_{max} deprem tarafından yüzeyde üretilen en büyük yatay yer ivmesi, g yerçekimi ivmesi, σ_{v0} ve σ'_{v0} sırasıyla incelenen derinlikteki toplam ve efektif gerilmeler, r_d ise zemin esnekliğinden ileri gelen gerilme azaltma katsayısıdır. Liao ve Whitman (1986)'a göre r_d aşağıdaki eşitliklerle belirlenebilmektedir:

$$z \leq 9.15 \text{ m ise } r_d = 1.0 - 0.00765z \quad (2a)$$

$$9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m ise } r_d = 1.174 - 0.0267z \quad (2b)$$

burada z metre cinsinden analiz yapılan zemin katmanının derinliğidir.

Ancak bilgisayar ortamında daha kolay programlanabilmesi nedeniyle aşağıdaki eşitlik rutin mühendislik uygulamalarında kullanılabilir (Youd ve Idriss, 2001):

$$r_d = (1 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5}) / (1 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.00121z^2) \quad (2c)$$

Daha önce de bahsedildiği gibi, incelenen zemin profilinin herhangi bir derinliğinde $CSR > CRR$ olması zeminin sıvılaşma riski taşıdığı anlamına gelmektedir. Yapılan arazi gözlemleri CRR değerlerinin artan normal ve efektif gerilmelerle arttığını göstermiştir. Bu nedenle zeminlere ait CRR değerleri belirlenirken arazide ölçülen koni uç direnci (q_c) değeri efektif gerilmeye göre normalize edilmelidir (Robertson ve Wride, 1998):

$$q_{c1N} = C_Q \left(\frac{q_c}{P_a} \right) \quad (3)$$

$$C_Q = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n \quad (4)$$

burada; q_{c1N} normalize koni uç direnci, C_Q koni uç direnci düzeltme faktörü, P_a σ'_{v0} ile aynı birimde olmak üzere 1 atmosfere karşılık gelen basınç (0.1 MPa veya 100 KPa), n zemin türüne bağlı üstel değişkendir. C_Q için 1.7'den büyük değerler kullanılmamalıdır. n temiz kum zeminler için 0.5, kil zeminler için 1.0, silt ve siltli kum zeminler için ise 0.5-1.0 arasında değerler almaktadır. Normalize koni uç direnci (q_{c1N}) birimsiz bir değerdir.

CPT deneyi sırasında ölçülen koni uç direnci (q_c) ve kenar sürtünmesi (f_s) değerleri zeminin dane boyu dağılımına ve plastisitesine bağlı olarak değişmektedir. İri daneli zeminler tipik olarak yüksek koni uç direnci – düşük kenar sürtünmesi değerlerine sahip olurken ince daneli ve plastik zeminler düşük koni uç direnci – yüksek kenar sürtünmesi değerlerine sahiptir. Bu farklılık CPT

sürtünme oranı adı verilen f_s/q_c oranından faydalanarak zeminlerin sınıflandırılabilmesini mümkün kılmaktadır (Şekil 3). Zemin sınıfını, daha doğru bir tanımla zemin davranışı tipini karakterize eden I_c değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

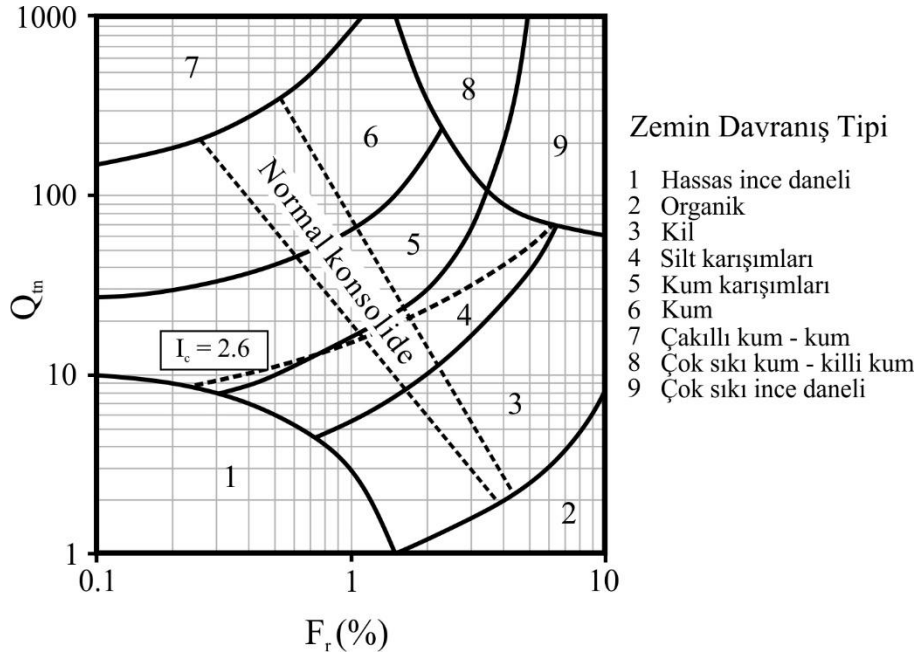
$$I_c = [(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2]^{0.5} \quad (5)$$

burada;

$$Q = \left(\frac{q_c - \sigma_{v0}}{P_a} \right) \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n \quad (6)$$

$$F(\%) = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} \times 100 \quad (7)$$

Robertson ve Wride (1998) Eşitlik 5'te öncelikle $n = 1.0$ alınarak Q ve buna bağlı I_c değerinin hesaplanmasını önermiştir. Hesaplanan I_c değeri 2.6'dan büyükse zeminin killi zemin sınıfında olduğu ve sıvılaşma göstermeyeceği kabul edilerek analiz sonlandırılır. Eğer hesaplanan I_c değeri 2.6'dan küçükse $n = 0.5$ alınarak Q ve I_c değerleri tekrar hesaplanır. Bu durumda hesaplanan I_c değeri 2.6'dan küçükse zeminin plastik olmayan granüler zemin sınıfında olduğu kabul edilir ve I_c değeri sıvılaşma dayanımının belirlenmesinde kullanılır. Eğer $n = 0.5$ için hesaplanan I_c değeri 2.6'dan büyükse $n = 0.7$ alınarak Q ve I_c değerleri yeniden hesaplanır ve I_c değeri bu haliyle sıvılaşma dayanımının belirlenmesinde kullanılır.



Şekil 3. Robertson (1990) tarafından önerilen Zemin Davranış Tipi sınıflaması

Siltli zeminler için belirlenen normalize koni uç direnci (q_{c1N}) temiz kumlar (Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması'nda SW-SP sınıfındaki zeminler; ASTM, (2011) için aşağıdaki eşitlik kullanılarak düzeltilir (Robertson ve Wride, 1998):

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N} \quad (8)$$

burada;

$$I_c \leq 1.64 \text{ için } K_c = 1.0 \quad (9a)$$

$$I_c > 1.64 \text{ için } K_c = -0.403I_c^4 + 5.581 I_c^3 - 21.63 I_c^2 + 33.75I_c - 17.88 \quad (9b)$$

Yukarıda verilen eşitlikler ile belirlenen CRR değeri yalnızca 7.5 büyüklüğündeki depremler için uygulanabilmektedir. Temiz kumlar için belirlenen ($q_{c1N})_{cs}$ değerleri büyüklük düzeltme faktörü (MSF) denilen katsayılarla çarpılarak CRR değerleri deprem büyüklüğüne bağlı olarak artırılır ya da azaltılır. Genel olarak MSF aşağıdaki şekilde uygulanır:

$$FS = (CRR_{7.5}/CSR)MSF \quad (10)$$

burada FS güvenlik sayısıdır.

Literatürde farklı araştırmacıların önerdiği MSF değerleri bulunmasına karşın (Seed ve Idriss, 1982; Ambraseys, 1988; Arango, 1996; Andrus ve Stokoe, 1997) bunlardan en çok tercih edileni Seed ve Idriss (1982) tarafından önerilen düzeltme faktörüdür:

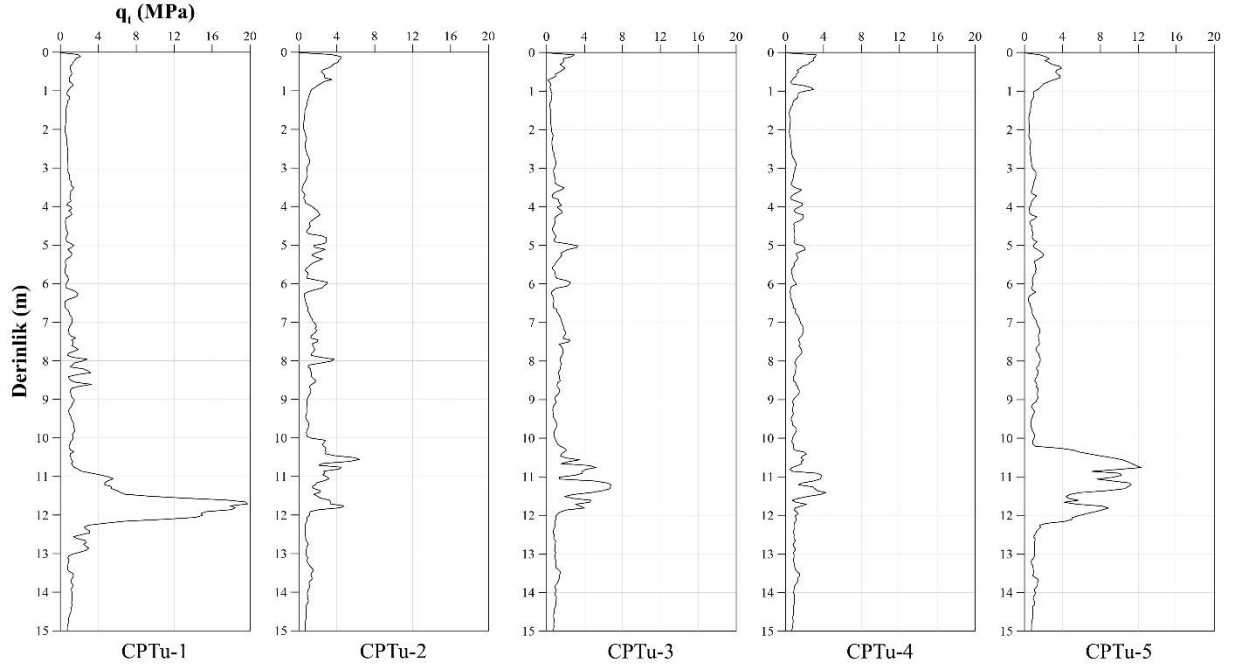
$$MSF = 10^{2.24} / (M_w)^{2.56} \quad (11)$$

burada M_w deprem moment büyüklüğüdür.

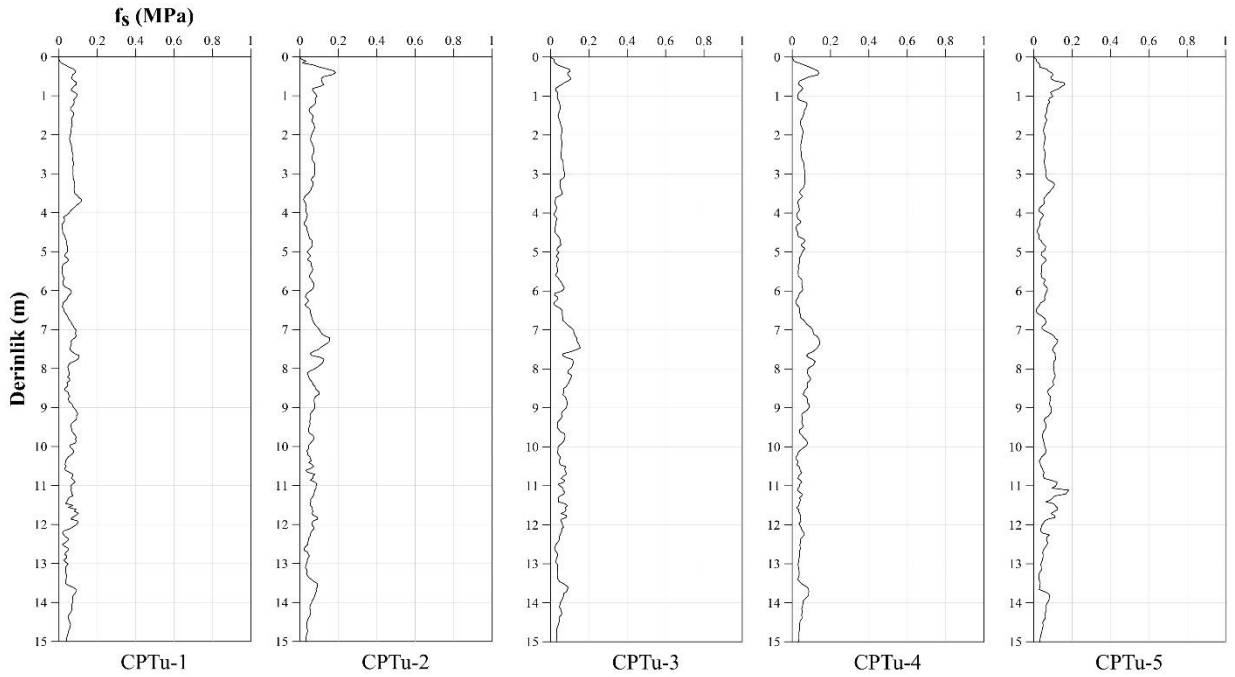
4. Bulgular

4.1. CPTu verileri

CPTu deneylerinden elde edilen ham (arazi) koni uç direnci (q_c) ve kenar sürtünmesi (f_s) değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 4 ve 5 incelendiğine özellikle 10-13 metreler arasında yüksek q_c – düşük f_s değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Bu veriler sıvılaşma potansiyeline sahip granüler zeminlerin varlığına işaret etmektedir.



Şekil 4. CPTu kuyularındaki q_c değerlerinin derinlikle değişimi



Şekil 5. CPTu kuyularındaki f_s değerlerinin derinlikle değişimi

Daha önce de belirtildiği gibi, elde edilen CPT verilerinin her 1 metre derinlik için ortalaması alınmıştır. Daha sonra arazide belirlenen q_c ve f_s değerleri üzerinde Youd ve Idriss (2001) tarafından önerilen yöntemle göre düzeltmeler yapılarak sıvılaşma analizlerinde kullanılacak olan $q_{c1n(cs)}$, I_c ,

K_c , r_d , CSR ve CRR parametreleri belirlenmiştir. Sıvılaşma analizlerinde kullanılmış olan parametrelerden bazıları Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Sıvılaştırma analizlerinde kullanılan I_c ve $q_{cIN,CS}$ parametreleri

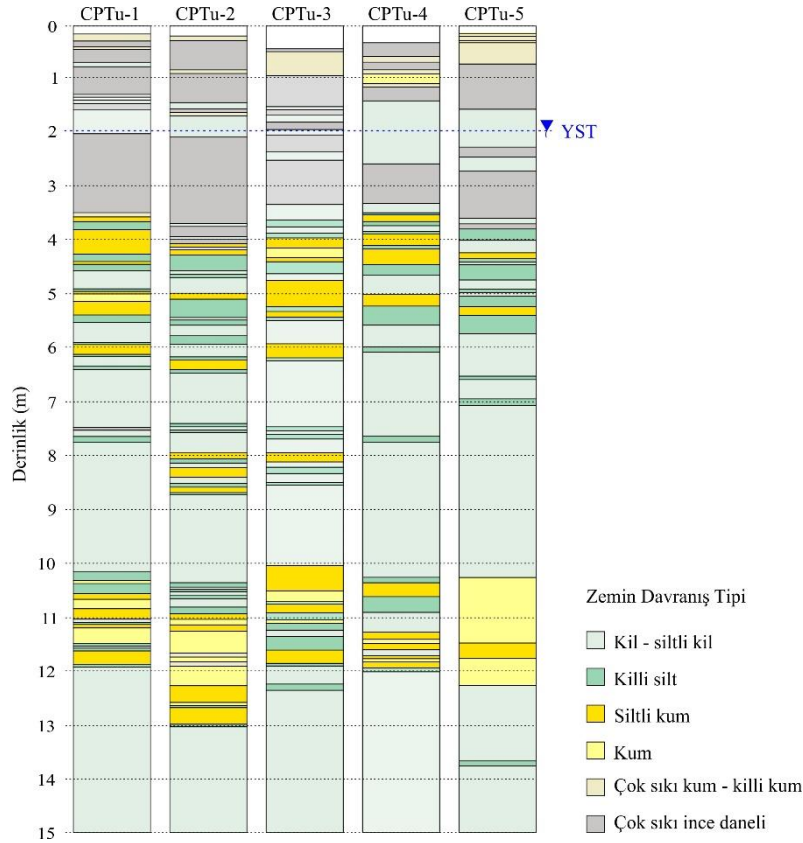
z (m)	CPTu-1		CPTu-2		CPTu-3		CPTu-4		CPTu-5	
	I_c	$q_{cIN,CS}$	I_c	$q_{cIN,CS}$	I_c	$q_{cIN,CS}$	I_c	$q_{cIN,CS}$	I_c	$q_{cIN,CS}$
1	2.497	55.594	2.221	83.810	2.527	57.930	2.315	60.401	2.300	85.778
2	2.647	40.526	2.636	46.060	2.761	34.142	2.976	81.592	2.749	49.026
3	2.677	45.581	2.656	51.322	2.639	43.317	2.728	47.354	2.816	50.257
4	2.618	59.124	2.739	48.866	2.826	87.983	2.928	99.675	2.653	58.941
5	2.951	80.530	2.656	101.631	2.886	88.781	2.909	97.188	2.684	49.053
6	2.684	51.567	2.890	106.565	2.835	92.547	2.661	48.495	2.613	51.000
7	2.773	75.153	2.706	50.525	2.807	52.609	2.933	51.183	2.968	50.193
8	2.801	101.581	2.745	67.603	2.770	70.546	2.838	70.714	2.842	66.940
9	2.925	79.141	2.787	51.817	2.909	58.565	3.000	57.521	2.891	60.008
10	2.934	126.403	3.127	49.104	3.135	48.674	3.160	49.620	3.111	50.108
11	2.744	108.325	2.666	78.145	2.820	77.096	2.654	33.855	2.271	84.289
12	2.547	192.207	2.919	81.708	2.650	81.065	2.816	62.914	2.416	106.108
13	2.504	65.221	3.317	43.280	3.200	40.221	3.171	41.042	2.646	37.564
14	3.174	122.374	3.169	45.140	3.168	43.649	3.179	43.013	3.150	40.235
15	3.250	123.281	3.399	40.935	3.345	40.301	3.362	40.669	3.348	42.935

z: derinlik

4.2. Zemin davranış tipi profili ve yeraltı suyu

Alüvyon malzemesinin zemin davranış sınıflaması Robertson (2016) tarafından önerilen yöntemle normalize koni uç direnci (Q_m) ve sürtünme oranı (F_r) verileri kullanılarak yapılmıştır. Her bir CPT lokasyonuna ait zemin

davranış tipinin derinlikle değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre çalışma alanında kil - siltli kil (3), killi silt (4), siltli kum (5), kum (6), çok sıkı kum - killi kum (8) ve çok sıkı ince daneli (9) zemin sınıflarında birimler yer almaktadır. Sondaj çalışmaları ışığında bölgedeki yeraltı suyu seviyesi 2 metre olarak belirlenmiştir.

**Şekil 6.** Çalışma alanındaki alüvyon malzemesinin zemin davranış tipi profili

4.3. Çalışma alanındaki zemin katmanlarının sınıflama potansiyeli

Daha önce de belirtildiği üzere çalışma kapsamında Bafra yöresinde 20 adet sondaj yapılmış ve bu sondajların 5 tanesinden örselenmemiş zemin örnekleri temin edilmiştir. Toplamda 75 adet sondaj örneği temin edilmiş olmasına rağmen çalışma alanındaki zeminlerin sınıflama potansiyeli hakkında ön bir değerlendirme yapmak amacıyla CPTu verileri yardımıyla hazırlanan zemin profillerinde kum-kum karışımları olarak

belirlenen derinliklerden alınan 20 adet örnek seçilmiştir. Seçilen bu örnekler üzerinde ASTM standartlarına uygun olarak ıslak elek, hidrometre, likit limit, plastik limit deneyleri yapılmış ve örneklerin doğal su muhtevaları tayin edilmiştir (ASTM, 2009, 2010, 2011). Daha sonra bu veriler Seed vd. (2003) tarafından önerilen plastisite – sınıflama potansiyeli grafiğine aktarılarak alüvyon malzemesinin sınıflama potansiyeli araştırılmıştır. Yapılan deneylere ait sonuçlar Tablo 2 ve 3'te verilmiştir.

Tablo 2. Örneklerin dane boyu dağılımları

Örnek No	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	FC (%)	Örnek No	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	FC (%)
1	30	58	12	88	11	50	38	12	88
2	32	43	25	75	12	22	67	11	89
3	31	59	10	90	13	18	59	23	77
4	18	54	28	72	14	34	56	10	90
5	28	63	9	91	15	38	50	12	88
6	30	58	12	88	16	32	59	9	91
7	42	47	11	89	17	33	53	14	86
8	50	43	7	93	18	21	56	23	77
9	63	29	8	92	19	26	60	14	86
10	52	39	9	93	20	29	61	10	90

FC: 200 no'lu elekten geçen ince daneli malzeme oranı.

Tablo 2 verileri incelendiğinde örneklerin ince daneli malzeme oranının %70'ten fazla olduğu görülmektedir. Örneklerin kil içerikleri %18-63 arasında, silt içerikleri %29-67 arasında, kum içerikleri ise %7-28 arasında değişmektedir. Hiçbir örnekte çakıl boyutunda malzeme bulunmamaktadır. Örnekler için dane boyu

dağılımı grafikleri, literatürde sınıflama potansiyeli gösteren zeminlerin dane boyu dağılımları ile kıyaslanmıştır (Şekil 7). Şekil 7'den de görülebileceği üzere örneklerin bir kısmına ait dane boyu dağılımları Potansiyel Sınıflama Aralığı bölgesine düşmektedir.

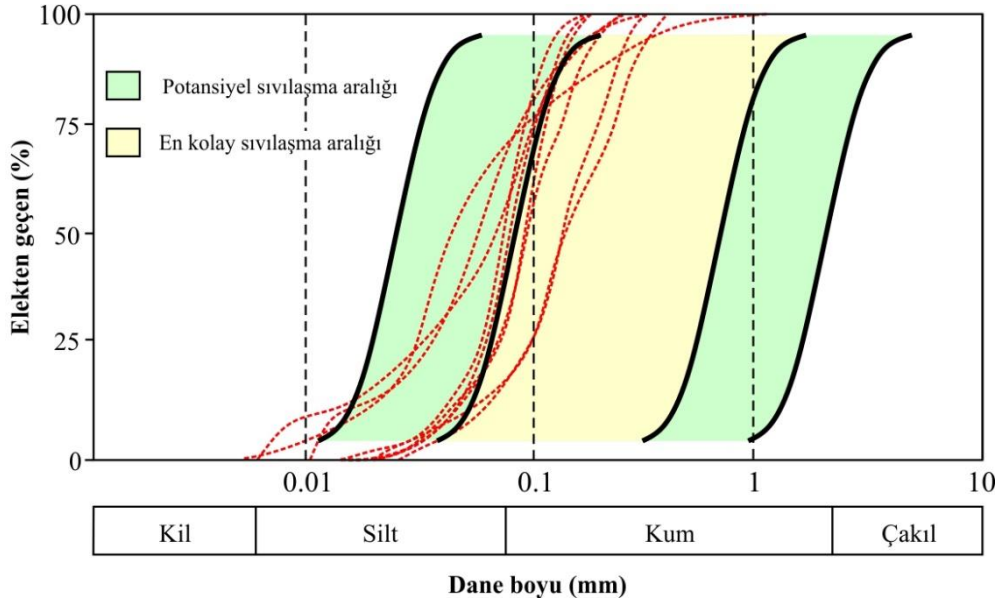
Tablo 3. Örneklerin Atterberg limitleri ve doğal su muhtevaları

Örnek No	PL (%)	LL (%)	PI (%)	W _n (%)	Örnek No	PL (%)	LL (%)	PI (%)	W _n (%)
1	21	41	20	30	11	34	57	23	39
2	20	32	12	33	12	22	34	12	27
3	19	46	27	30	13	25	38	13	30
4	27	41	14	22	14	22	34	12	25
5	23	40	17	33	15	29	62	33	38
6	24	35	11	28	16	26	54	28	34
7	22	46	24	29	17	32	53	21	38
8	29	58	29	33	18	26	45	19	34
9	32	74	42	28	19	23	35	12	29
10	31	75	44	33	20	21	43	22	30

LL: likit limit, PL: plastik limit, PI: plastisite indisi; W_n: doğal su muhtevası

Tablo 3 incelendiğinde örneklerin likit limitlerinin %32-75 arasında, plastik limitlerinin %19-34 arasında, plastisite indislerinin %11-44 arasında,

doğal su muhtevalarının ise %22-39 arasında değiştiği görülmektedir.

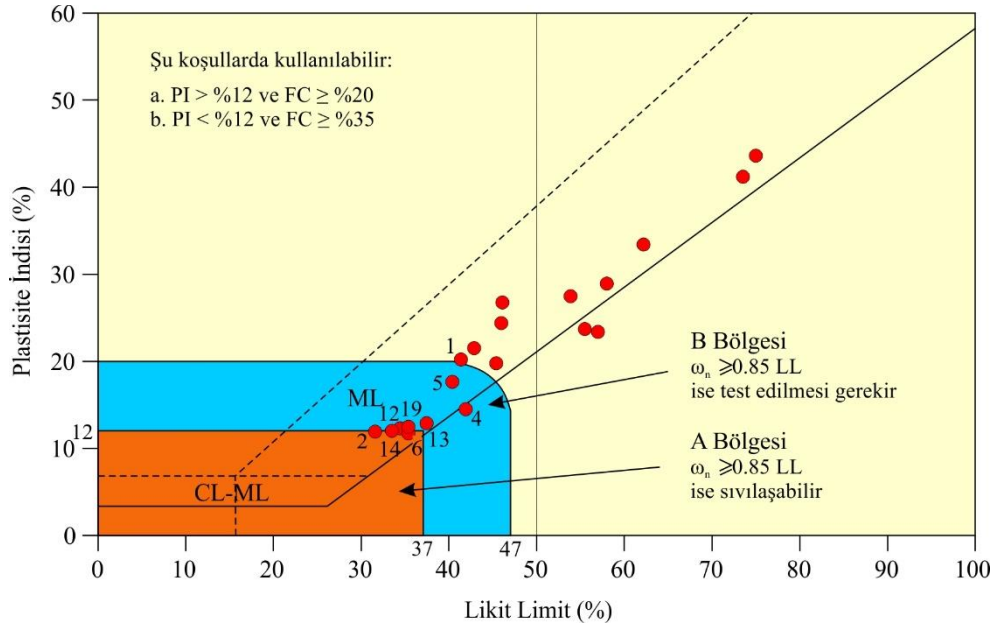


Şekil 7. Zemin örneklerinin dane boyu dağılımlarının literatürde sıvılaşma potansiyeli gösteren zeminlerin dane boyu dağılımları ile kıyaslanması (Balkema, 1997)

Seed vd. (2003) tarafından önerilen sıvılaşma potansiyeli grafiği sadece aşağıdaki koşullarda kullanılabilir:

- $PI > \%12$ ve $FC \geq \%20$
- $PI < \%12$ ve $FC \geq \%35$

burada FC, 200 no'lu elekten geçen ince daneli malzeme oranıdır. Tablo 2 ve 3 incelendiğinde 2 ve 6 numaralı örneklerin (b) şartını, diğer tüm örneklerin ise (a) şartını sağladığı görülmektedir. Örneklerin Seed vd. (2003) tarafından önerilen grafikteki dağılımları Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Örneklerin Seed vd. (2003) tarafından önerilen plastisite – sıvılaşma potansiyeli grafiğindeki dağılımı

Plastisite – sıvılaşma potansiyeli grafiği incelendiğinde 1, 2, 4, 5, 6, 12, 13, 14 ve 19 numaralı örneklerin A ve/veya B bölgelerinde yer aldığı görülmektedir.

Şekil 7'de A veya B bölgelerinde yer alan zemin örneklerinin sıvılaşma potansiyeli hakkında ön değerlendirme yapabilmek için doğal su muhtevalarının likit limitlerinin 0.85 katına eşit veya fazla olması gerekmektedir ($W_n \geq 0.85 \cdot LL$).

Tablo 4 incelendiğinde 2 numaralı örneğin bu şartı sağladığı; 6, 12, 13 ve 19 numaralı örneklerin ise sınır değere çok yakın olduğu görülmektedir.

Dolayısıyla çalışma alanındaki zemin katmanlarının sıvılaşma potansiyelinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi gerektiği görülmektedir.

Tablo 4. Örneklerin sıvılaşma değerlendirmesinde kullanılan sınır koşul parametreleri

Örnek No	PI (%)	FC (%)	LL*0.85	W _n (%)	Örnek No	PI (%)	FC (%)	LL*0.85	W _n (%)
1	20	88	34.9	30	11	34	88	48.5	39
2	12	75	27.2	33	12	22	89	28.9	27
3	27	90	39.1	30	13	25	77	32.3	30
4	14	72	34.9	22	14	22	90	28.9	25
5	17	91	34.0	33	15	29	88	52.7	38
6	11	88	29.8	28	16	26	91	45.9	34
7	24	89	39.1	29	17	32	86	45.1	38
8	29	93	49.3	33	18	26	77	38.3	34
9	42	92	62.9	28	19	23	86	29.8	29
10	44	93	63.8	33	20	21	90	36.6	30

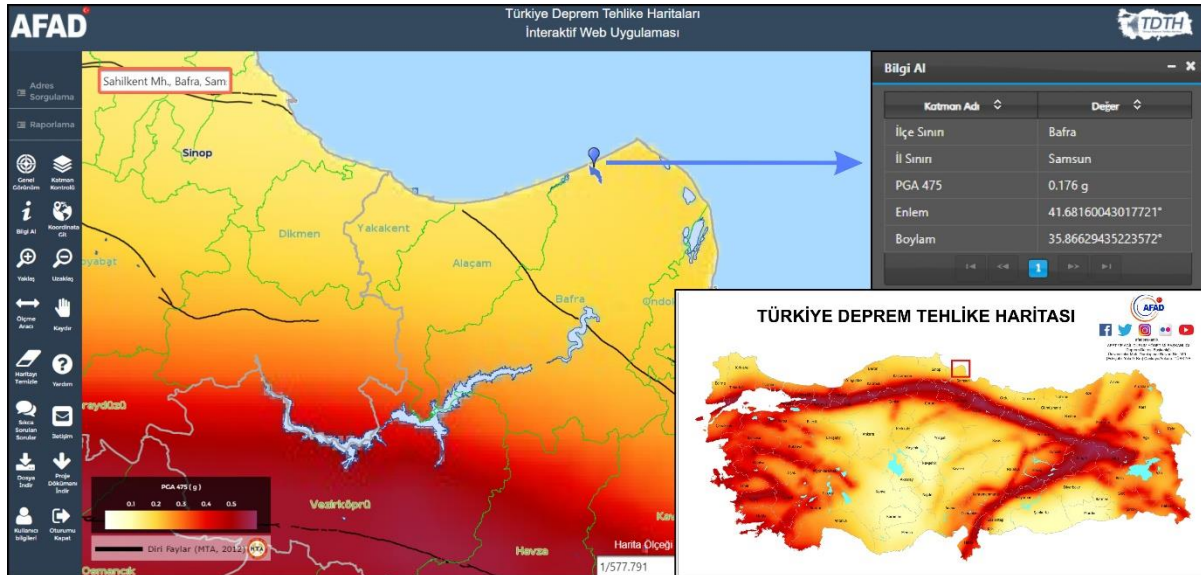
4.4. Sıvılaşma analizleri

Sıvılaşma potansiyeli incelemelerinin ilk aşamasında çalışma alanında yüzeylenen alüvyon malzemesinin sıvılaşmaya karşı güvenlik sayıları [Robertson ve Wride \(1998\)](#) tarafından önerilen eşitlikle (Eş. 10) belirlenmiştir. Yapılan sıvılaşma analizlerinde çalışma alanındaki en büyük yatay yer ivmesi (PGA) değeri Türkiye Deprem Tehlike Haritası ([AFAD, 2019](#)) verilerine uygun şekilde 0.18g olarak alınmıştır (Şekil 9). Bu değer 0.2g'den düşük olduğu için aktif fay uzaklık düzeltmesi yapılmaksızın olduğu gibi kullanılmıştır ([Towhata,](#)

2008). Deprem büyüklüğü olarak Samsun'da gerçekleşen en büyük kayıtlı deprem olan 26 Kasım 1943 Ladik depremi (Ms=7.2) baz alınmıştır. Youd ve Idriss (2001) $6 < M_s < 8$ arasındaki deprem büyüklüklerinin doğrudan Mw skalasına dönüştürülerek kullanılabilirliğini belirtmiştir. Ms = Mw = 7.2 büyüklük için deprem büyüklüğü düzeltme faktörü (MSF) Eş. 11 kullanılarak:

$$MSF = 10^{2.24} / (7.2)^{2.56} = 1.11$$

olarak hesaplanmıştır.



Şekil 9. Sahilkent yöresinin Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndaki yeri ve hesaplanan PGA değeri ([AFAD, 2019](#))

Zemin profiline ait güvenlik sayıları belirlendikten sonra [Iwasaki \(1978\)](#) tarafından önerilen yöntem

kullanılarak 15 metrelik zemin profilinin sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir:

$$LPI = \int_0^{15m} F \times w(z) dz \quad (12a)$$

Burada;

$$w(z) = 10-0.5z \quad (12b)$$

$$F = 0 \quad (FS > 1 \text{ ise}) \quad (12c)$$

$$F = 1 - FS \quad (FS < 1 \text{ ise}) \quad (12d)$$

LPI: sıvılaşma potansiyeli indeksi (bkz. Tablo 5),
z: metre cinsinden derinlik,
w: derinlik ağırlık düzeltme faktörüdür.

Elde edilen LPI değerleri kullanılarak Tablo 5'e göre potansiyel sıvılaşmanın şiddeti belirlenmiştir.

Tablo 5. Hesaplanan LPI değerlerine göre sıvılaşma şiddetinin belirlenmesi (Iwasaki, 1978)

Sıvılaşmanın Şiddeti	LPI
Az – Yok	LPI = 0
Küçük	0 < LPI < 5
Orta	5 < LPI < 15
Büyük	15 < LPI

Yapılan sıvılaşma analizlerinde belirlenen CSR, CRR, FS_{7.2} ve LPI değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Çalışma alanındaki zemin katmanlarının tamamının sıvılaşma şiddetinin Az – Yok sınıfında olduğu sonucuna varılmıştır.

5. Tartışma ve sonuçlar

Bu çalışmada Samsun ili Bafra ilçesi Sahilkent yöresinde yüzeyleyen suya doymuş kumlu-siltli alüvyon malzemesinin sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır. Bölgedeki zemin katmanlarının sıvılaşma potansiyeli hakkında ön bir değerlendirme yapabilmek amacıyla çalışma alanında 5 adet karotlu sondaj yapılmış ve örselenmemiş zemin örnekleri temin edilmiştir. Bu örnekler üzerinde indeks ve plastik özellik tayinleri yapılarak zemin katmanlarının sıvılaşma potansiyeli Seed vd. (2003) tarafından önerilen yöntemle belirlenmiş ve örneklerin bir kısmının 'Sıvılaşabilir', bir kısmının ise 'Test Edilmesi Gerekir' bölgelerinde yer aldığı görülmüştür. Bu bulgular göz önünde bulundurularak çalışma alanında 15 metre derinliğinde 5 adet CPTu deneyi yapılmış ve elde edilen verilerle Youd ve Idriss (2001) tarafından önerilen yöntemle göre sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Sıvılaşma analizleri Samsun ilinde gözlenen en büyük deprem olan 1943 Ladik

depremi (M_w=7.2) baz alınarak yapılmış ve PGA değeri 0.18g olarak alınmıştır.

Yapılan analizler sonucunda Sahilkent yöresinde 7.2 büyüklüğündeki bir deprem için herhangi bir sıvılaşma olayının gözlenmeyeceği sonucuna varılmıştır. Sondaj çalışmalarıyla alınan örnekler üzerinde yapılan indeks özellik tayinlerinden elde edilen veriler değerlendirildiğinde, alüvyon malzemesinin yüksek ince daneli malzeme (<0.005 mm) oranına sahip olmasının bu durumun en önemli nedeni olduğu görülmektedir. İnce daneli malzemelerin zemin malzemesinin kohezyonunu arttırdığı ve böylece zemine sıvılaşma olayına karşı fazladan dayanım kazandırdığı bilinmektedir (Youd ve Idriss, 2001). Bu durum Tablo 1'de açık olarak gözlenebilmektedir: tablodaki I_c değerlerinin büyük bir çoğunluğu 2.6'dan fazladır ki bu durum söz konusu zemin tabakasının kil sınıfında olduğu anlamına gelmektedir. Bölgede sıvılaşmaya karşı duyarlı temiz kum seviyeleri olmasına karşın bu seviyelerin kalın kil – siltli kil sınıfındaki tabakalar arasında yer alması sıvılaşma olayının beklenmemesinin bir başka nedenidir (Ishihara, 1985).

Tablo 6. CPTu lokasyonlarında her bir metre için hesaplanan sıvılaşma potansiyeli değerleri

z (m)	CPTu-1					CPTu-2					CPTu-3					CPTu-4					CPTu-5				
	CSR	CRR	FS _{7.2}	LPI	SŞ	CSR	CRR	FS _{7.2}	LPI	SŞ	CSR	CRR	FS _{7.2}	LPI	SŞ	CSR	CRR	FS _{7.2}	LPI	SŞ	CSR	CRR	FS _{7.2}	LPI	SŞ
1	0.041	0.096	2.60	0	Az-Yok	0.031	0.135	4.83	0	Az-Yok	0.031	0.098	3.51	0	Az-Yok	0.032	0.100	3.47	0	Az-Yok	0.025	0.139	6.17	0	Az-Yok
2	0.046	0.084	2.03	0	Az-Yok	0.035	0.088	2.79	0	Az-Yok	0.044	0.078	1.96	0	Az-Yok	0.033	0.131	4.41	0	Az-Yok	0.032	0.091	3.15	0	Az-Yok
3	0.054	0.088	1.81	0	Az-Yok	0.042	0.093	2.45	0	Az-Yok	0.051	0.086	1.88	0	Az-Yok	0.040	0.089	2.48	0	Az-Yok	0.040	0.092	2.55	0	Az-Yok
4	0.053	0.099	2.08	0	Az-Yok	0.044	0.091	2.30	0	Az-Yok	0.048	0.143	3.31	0	Az-Yok	0.040	0.172	4.77	0	Az-Yok	0.043	0.099	2.55	0	Az-Yok
5	0.050	0.129	2.86	0	Az-Yok	0.038	0.178	5.19	0	Az-Yok	0.038	0.145	4.24	0	Az-Yok	0.035	0.165	5.23	0	Az-Yok	0.040	0.091	2.53	0	Az-Yok
6	0.040	0.093	2.59	0	Az-Yok	0.034	0.193	6.30	0	Az-Yok	0.035	0.154	4.88	0	Az-Yok	0.033	0.090	3.03	0	Az-Yok	0.036	0.092	2.84	0	Az-Yok
7	0.037	0.113	3.39	0	Az-Yok	0.033	0.092	3.10	0	Az-Yok	0.034	0.094	3.06	0	Az-Yok	0.033	0.092	3.10	0	Az-Yok	0.035	0.092	2.92	0	Az-Yok
8	0.037	0.177	5.31	0	Az-Yok	0.034	0.109	3.56	0	Az-Yok	0.034	0.113	3.69	0	Az-Yok	0.034	0.113	3.69	0	Az-Yok	0.035	0.108	3.43	0	Az-Yok
9	0.036	0.126	3.89	0	Az-Yok	0.033	0.093	3.13	0	Az-Yok	0.035	0.099	3.14	0	Az-Yok	0.034	0.098	3.20	0	Az-Yok	0.036	0.100	3.09	0	Az-Yok
10	0.035	0.268	8.50	0	Az-Yok	0.033	0.091	3.06	0	Az-Yok	0.035	0.091	2.89	0	Az-Yok	0.035	0.091	2.89	0	Az-Yok	0.036	0.092	2.84	0	Az-Yok
11	0.034	0.140	4.57	0	Az-Yok	0.032	0.124	4.31	0	Az-Yok	0.033	0.123	4.14	0	Az-Yok	0.034	0.078	2.54	0	Az-Yok	0.034	0.136	4.44	0	Az-Yok
12	0.031	0.740	26.5	0	Az-Yok	0.029	0.131	5.02	0	Az-Yok	0.030	0.130	4.81	0	Az-Yok	0.031	0.103	3.69	0	Az-Yok	0.031	0.191	6.84	0	Az-Yok
13	0.028	0.106	4.21	0	Az-Yok	0.028	0.086	3.41	0	Az-Yok	0.029	0.084	3.22	0	Az-Yok	0.029	0.084	3.22	0	Az-Yok	0.029	0.081	3.10	0	Az-Yok
14	0.027	0.152	6.25	0	Az-Yok	0.027	0.088	3.62	0	Az-Yok	0.028	0.086	3.41	0	Az-Yok	0.028	0.086	3.41	0	Az-Yok	0.028	0.084	3.33	0	Az-Yok
15	0.026	0.153	6.53	0	Az-Yok	0.026	0.084	3.59	0	Az-Yok	0.027	0.084	3.45	0	Az-Yok	0.027	0.084	3.45	0	Az-Yok	0.027	0.086	3.54	0	Az-Yok

SŞ: Sıvılaşma şiddeti

Katkı Belirtme

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2019-8434 ve FDK-2019-8228 kodlu projeler ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- AFAD. (2018). Türkiye Deprem Tehlike Haritası. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Erişim adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem-tehlike-haritalari>
- Ambraseys, N. N. (1988). Engineering seismology. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 17, 1-105. <https://doi.org/10.1002/eqe.4290170102>.
- Andrus, R. D. and Stokoe, K. H. II. (1997). Liquefaction resistance based on shear wave velocity. *Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils* (ss. 89-128). New York.
- Arango, I. (1996). Magnitude scaling factors for soil liquefaction evaluations. *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(11), 929-936. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1996\)122:11\(929\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1996)122:11(929))
- Ateş, A. (2017). Gölyaka (Düzce) imara esas yerleşim alanındaki zeminlerin SPT ve sismik hız verileriyle sıvılaşma riskinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 20(4), 753-763. <https://doi.org/10.2339/politeknik.368977>
- ASTM. (2009). Standard Test Methods For Particle-Size Distribution (Gradation) Of Soils Using Sieve Analysis. *ASTM D6913-04(2009)e1*, West Conshohocken, PA.
- ASTM. (2010). Standard Test Methods For Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index Of Soils. *ASTM D4318-10e1*, West Conshohocken, PA.
- ASTM. (2011). Standard Practice For Classification Of Soils For Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). *ASTM D2487-11*, West Conshohocken, PA.
- Begemann, H. K. (1965). The friction jacket cone as an aid in determining the soil profile. *Proc. 6th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Vol. I* (ss. 17-20). Toronto.
- Bilge, H. T. ve Çetin, K. Ö. (2017). Silt-Kil Karışımı Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyellerinin Belirlenmesi. 4. *Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı* (ss. 11-19). Eskişehir.
- Bol, E., Önalp, A., Arel, E., Sert, S. and Özocak, A. (2010). Liquefaction of silts: the Adapazari criteria. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8(4), 859-873. <https://doi.org/10.1007/s10518-010-9174-x>
- Bray, J. D., Sancio, R. B., Durgunoglu, T., Onalp, A., Youd, T. L., Stewart, J. P., Seed, R. B., Cetin, O. K., Bol, E., Baturay, M. B., Christensen, C., and Karadayilar, T. (2004). Subsurface characterization at ground failure sites in Adapazari, Turkey. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(7), 673-685. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2004\)130:7\(673\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:7(673))
- Davis, T. N. (1960). A field report on the Alaska earthquakes of April 7, 1958. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 50(4), 489-510.
- Dipova, N. ve Cangir, B. (2017). Lara-Kundu (Antalya) düzlüğünün sıvılaşma şiddeti indeksine (LSI) dayalı sıvılaşma haritası. *Geological Engineering Journal/Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 41(1), 31-46. <https://doi.org/10.24232/jmd.311839>
- Dobry, R., Stokoe, K. H., Ladd, R. S. and Youd, T. L. (1981). Liquefaction susceptibility from S-wave velocity. *ASCE National Convention* (ss. 1-8). New York.
- Dobry, R., Thevanayagam, S., El-Sekelly, W., Abdoun, T. and Huang, Q. (2019). Large-scale modeling of preshaking effect on liquefaction resistance, shear wave velocity, and CPT tip resistance of clean sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 145(10), 04019065. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002080](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002080)
- Duman, E. S. (2013). *Erzincan il merkezi ve çevresindeki zeminlerin standart penetrasyon deneyi verileri kullanılarak sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ersoy, A. F. and Karaca, Z. (2019). Determination of groundwater parameters for drinking and agricultural use in the coastal region of engiz aquifer system, Samsun (Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 12(6), 198. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4365-5>
- Ertek, M. K. (2015). *Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi ve oturmalara etkisinin incelenmesi: Atakum örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

- Esin, G. (2015). *Coğrafi bilgi sistemi kullanılarak Burhaniye (Balıkesir) yerleşim alanının sıvılaşma duyarlılık haritasının oluşturulması*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Huizinga, T. K. (1942). *Grondmechanica (Soil Mechanics)*. Amsterdam: VTK Leuven.
- Ishihara, K. (1985). Stability of natural deposits during earthquakes. *Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering* (ss. 321-376). San Francisco.
- Işık, A., Ünsal, N., Gürbüz, A. ve Şişman, E. (2016). Fethiye yerleşim alanındaki zeminlerin spt ve kayma dalga hızı verileriyle sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(4), 1027-1037. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.278458>
- Iwasaki, T. (1978). A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japon. *Proc. Second Int. Conf. Microzonation Safer Construction Research Application* (ss. 885-896). San Francisco.
- Iwasaki, T., Arakawa, T. and Tokida, K. I. (1984). Simplified procedures for assessing soil liquefaction during earthquakes. *International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 3(1), 49-58. [https://doi.org/10.1016/0261-7277\(84\)90027-5](https://doi.org/10.1016/0261-7277(84)90027-5)
- Kurnaz, T. F. and Kaya, Y. (2019). A novel ensemble model based on GMDH-type neural network for the prediction of CPT-based soil liquefaction. *Environmental Earth Sciences*, 78(11), 339. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8344-7>
- Liao, S. S. and Whitman, R. V. (1986). *A catalog of liquefaction and non-liquefaction occurrences during earthquakes*. Massachusetts: Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Marcuson, W. F. III. (1978). Definition of terms related to liquefaction. *Journal of Geotechnical Engineering Division*, 104(9), 1197-1200.
- Ntritsos, N. and Cubrinovski, M. (2020). A CPT-based effective stress analysis procedure for liquefaction assessment. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 131, 106063. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106063>
- Önalp, A. ve Arel, E. (2002). Siltlerin sıvılaşma yeteneği: Adapazarı kriteri. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi* (ss. 363-372). Ankara.
- Öztürk, S. (2016). *Sıvılaşmaya karşı jet grout yöntemi ile zemin iyileştirilmesi: Samsun-Tekkeköy örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Plantema, G. (1948). Construction and method of operating a new deep sounding apparatus. *Proceedings of the Second International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering* (ss. 277). Rotterdam.
- Balkema, A. A. (1997). *Handbook on Liquefaction Remediation on Reclaimed Land*. Rotterdam: Taylor and Francis.
- Robertson, P. K. (1990). Soil classification using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, 27(1), 151-158. <https://doi.org/10.1139/t90-014>
- Robertson, P. K. (2016). Cone penetration test (cpt)-based soil behaviour type (sbt) classification system—an update. *Canadian Geotechnical Journal*, 53(12), 1910-1927. <https://doi.org/10.1139/cgj-2016-0044>
- Robertson, P. K. and Campanella, R. G. (1985). Liquefaction potential of sands using the CPT. *Journal of Geotechnical Engineering*, 111(3), 384-403. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1985\)111:3\(384\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1985)111:3(384))
- Robertson, P. K. and Wride, C. E. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, 35(3), 442-459. <https://doi.org/10.1139/t98-017>
- Seed, H. B. and De Alba, P. (1986). Use of SPT and CPT tests for evaluating the liquefaction resistance of sands. *Proceedings of Use of in Situ Tests in Geotechnical Engineering (In Situ '86)* (ss. 281-302). Blacksburg, ABD.
- Seed, R. B., Cetin, K. Ö., Moss, R. E. S., Kammerer, A. M., Wu, J., Pestana, J. M., Riemer, M. F., Sancio, R. B., Bray, J. D., Kayen, R. E. and Faris, A. (2003). Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework. *26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar* (ss. 1-72) California.
- Seed, H. B. and Idriss, I. M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div.* 97, 1249-1273.
- Seed, H. B. and Wilson, S. D. (1967). *The turnagain heights landslide, Anchorage, Alaska (No. 9)*. Berkeley (ABD): University of California, Department of Civil Engineering, Institute of Transportation and Traffic Engineering.

- Seed, H. B. and Idriss, I. (1982). *Ground motions and soil liquefaction during earthquakes: engineering monographs on earthquake criteria, structural design, and strong motion records*. Oakland (ABD): Earthquake Engineering Research Institute.
- Seed, H. B. Igancio, A., Alberto, G. M., Ascoli, R. G. and Chan, C. K. (1981). Earthquake-induced liquefaction near Lake Amatitlan, Guatemala. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 107, 501-518.
- Senneset, K. and Janbu, N. (1985). Shear strength parameters obtained from static cone penetration tests. Chaney, R. ve Demars, K. (Ed.), *Strength Testing of Marine Sediments: Laboratory and In-situ Measurements*. West Conshohocken: ASTM International.
- Sert, S., Özocak, A. and Bol, E. (2018). Sıvılaşma bölgelerinde sıvılaşmaz üst tabaka kalınlığının iyileştirme gereksinimine etkisi. *Academic Perspective Procedia*, 1(1), 1301-1312. <https://doi.org/10.33793/acperpro.01.01.202>
- Shibata, T. and Teparaksa, W. (1988). Evaluation of liquefaction potentials of soils using cone penetration tests. *Soils and Foundations*, 28(2), 49-60. https://doi.org/10.3208/sandf1972.28.2_49
- Sönmez, B., Dağdelenler, G., Özcan, N.T., Ercanoğlu, M. ve Sönmez, H. (2015). Yapay sinir ağı kullanılarak CPT tabanlı sıvılaşma değerlendirme abağının geliştirilmesi. *Yerbilimleri*, 36(2), 45-59.
- Stark, T. D. and Olson, S. M. (1995). Liquefaction resistance using cpt and field case histories. *Journal of Geotechnical Engineering*, 121(12), 856-869. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1995\)121:12\(856\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1995)121:12(856))
- Temizel, I., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu, E. and Ruffet, G. (2016). Geochronology and geochemistry of eocene-aged volcanic rocks around the bafra (samsun, n turkey) area: constraints for the interaction of lithospheric mantle and crustal melts. *Lithos*, 258, 92-114. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.04.023>
- Towhata, I. (2008). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Heidelberg: Springer Science & Bussines Media
- Turoğlu, H. (2010). Kızılırmak deltası ve yakın çevresinin jeomorfolojik özellikleri ve insan yaşamındaki etkileri. *Anadolu Araştırmaları*, 19, 1-26.
- Youd, T. L. and Idriss, I. M. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(4), 297-313. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:4\(297\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:4(297))
- Youd, T. L., Harp, E. L., Keefer, D. K. and Wilson, R.C. (1985). The borah peak, idaho earthquake of October 28, 1983 Liquefaction. *Earthquake Spectra*, 2(1), 71-89.

Kıyı peyzaj tasarımlarının önemi ve Kurucaşile (Bartın) limanı için öneriler

Importance of coastal landscape designs and suggestions for Kurucasile (Bartın) port

Nurhan KOÇAN *^{1,a}

¹ Bartın Üniversitesi Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü 74100 Bartın

• Geliş tarihi / Received: 23.10.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 12.01.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 20.01.2021

Öz

Su kıyıları tarih boyunca insanlar tarafından çeşitli amaçlar için kullanılmıştır. Bu kullanımların en önemlilerinden biri de rekreasyonel kullanımdır. Suyun sahip olduğu görsel ve fiziksel etkilerden çeşitli şekillerden yararlanmak üzere, insanlar serbest zamanlarını su kıyılarında geçirmektedirler. Bu çalışmada Bartın ili Kurucaşile İlçesinde bulunan liman bölgesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Alan güncel durumda yük nakliyesi ve taşımacılık amacıyla kullanılması yanısıra rekreasyonel amaçlar için de gelişigüzel kullanılmakta ve sahip olduğu potansiyel yeterince değerlendirilememektedir. Çalışmada, alanın fiziksel ve görsel olarak daha iyi koşullara ulaştırılması, kent halkı ile ziyaretçilere daha iyi kentsel bir mekan kazandırılması ve rekreasyonel etkinlikler için daha uygun ortamlar hazırlamak hedeflenmiştir. Bu amaçla alan için farklı konseptlerde peyzaj tasarım projeleri oluşturulmuştur. Projelerin hazırlanması ve sunumunda AutoCad 2017, SketcUp, Photoshop CS5 ve Lumion yazılımları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen projelerin uygulanması durumunda alanın mevcut sorunlarını çözeceği, mekânsal kalitenin artacağı ve kullanıcılar için farklı kamusal alan kazanımlarının gerçekleşeceği öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: Bartın, Kıyı kenti, Kıyı tasarımı, Kurucaşile, Peyzaj tasarımı

Abstract

Water shores have been used by people for various purposes throughout history. One of the most important of these is recreational use. People spend their free time on water shores in order to benefit from the visual and physical effects of water in various ways. In this study, the port area in Kurucasile District of Bartın Province was chosen as the study area. The area is currently used for transportation. Apart from that, it is used indiscriminately for recreational purposes and its potential is not used sufficiently. In the study, it is aimed to bring the area to better physical and visual conditions, to provide a better urban space for the citizens and visitors, and to prepare a facility for recreational activities. For this purpose, landscape design projects in different concepts were created for the area. AutoCad 2017, SketcUp, Photoshop CS5 and Lumion software were used in the preparation and presentation of the projects. It is foreseen that if the projects produced within the scope of the study are implemented, the existing problems of the area will be solved, the spatial quality will increase and different public space will be realized for the users.

Keywords: Bartın, Coastal city, Coastal design, Kurucasile, Landscape design

*^a Nurhan KOÇAN; nkocan@bartin.edu.tr, Tel:0378 2235144, orcid.org/0000-0001-9433-7007

1. Giriş

Tarihsel süreç içerisinde kentlerin kuruluşunda ve gelişmesinde etkili olan öncelikli unsurlar coğrafi, ekonomik ve askeri nedenlerdir. Bu nedenlerin önemli ortak bileşeni ise su olmuştur. Su, insanlığın var olmasından bu yana daima insan hayatını kolaylaştıran temel bir unsur olarak savunmadan, ulaşıma, ticaretten sanayiye bir çok önemli görevler üstlenmiştir. En önemlisi ise suyun varlığının, suyla ilişkili yerleşmelerin kültürünün de oluşumunda ve gelişiminde önemli rol üstlenmesidir. Kent ile kıyı arasında tarih boyunca olagelen yakın ilişki süreç içinde kentin hoş, zengin ve önemli bir simgesini oluşturmuştur (Önemli, 2007).

Kuruluşundan bu yana sürekli etkileşim içinde olan kent ve kıyısı arasındaki ilişkiler, çeşitli dinamiklerin etkisiyle süreç içinde çeşitlenmiş, zaman zaman kesintiye uğramış, özellikle sanayileşme süreciyle değişmiştir. Su-kent ve çevresi arasında insan ve eşya akışına dayalı ilişki günümüzde farklı dinamiklerin etkisiyle çeşitlenmiştir. Gelişen teknoloji ve yeni ekonomik politikalarla birlikte, sanayinin kıyı bölgelerinden uzaklaştırılması veya control altına alınması yeni kopan kent-kıyı ilişkilerinin onarımı için fırsat yaratmaktadır (Kılıç, 1999). Kıyıların sahip olduğu önemli potansiyeller, her dönemde hem toplum, hem de yabancı turistler ve tüccarlar için çekim kaynağı olmuştur. Yaşamsal fonksiyonlarla donatılmış olan çok zengin aktivitelere sahip olan kıyılar, her dönemde güçlü ilişki içinde oldukları kentte önemli bir gelişim ve değişim unsuru olmuşlardır (Önemli, 2007).

Kıyılar görsel, işlevsel, algısal ve ekolojik nitelikleriyle turistik amaçlara hizmet ederler. Özellikle son yıllarda kentli nüfusun, sağlık, dinlenme, eğlenme ve tatil alışkanlıkları değişmiş artan gelir düzeyleriyle de desteklenen bu alışkanlıklar kıyılara olan talebi arttırmıştır (Önemli, 2007). Ancak bu alanlarda, turizm kullanımlarının ekolojik sistemi bozmadan devam edebilmesi için bir plana ihtiyaç bulunmaktadır. Bunun aracı ise peyzaj tasarım projeleridir. Kıyı bölgeleri, bazen birkaç kullanımı birden içerebilir. Önemli olan kıyılar için seçilecek kullanımların birbiri ile çelişmeden, bir arada ve doğal kaynakların özelliklerini yitirmeyecek oranlarda kapsam ve düzeyde olmasıdır. Kıyılar için verilecek kararlarda ekonomik, fiziksel, biyolojik, sosyal ve kültürel değerler göz önüne alınmalıdır (Doğan ve Erginöz, 1997; Van der Ryn ve Cowan, 1996).

Kentlerin kentsel işlevlerini yerine getirmeleri yanısıra diğer kentlere göre avantajlı duruma gelebilmeleri, kentsel ekonomilerini canlandırmaları, uluslararası sermayeyi ve kamu yatırımlarını çekmeleri ve kent turizminde ön plana çıkma istekleri kentsel projelere olan talebi ve kentsel projelerin önemini artırmıştır (Önemli, 2007).

Kentleri diğer kentlerden üstün ve farklı kılan; yaşam kalitesi gelişmiş, mekansal bilgi birikimi ve deneyimlerle oluşmuş bir kimlik içeren, çekici ve heyecan verici, güvenli, yenilik yaratıcı bir yer olma özellikleridir. Kentlere ilişkin oluşturulan etkileyici prestij projeleri kentsel girişimciliğin kaynak yaratmada yaygın olarak kullandığı bir araç olmaktadır (Lash ve Urry, 1994). Bu tür projeler, kent için düşünülen imajın gerçekleşmesine yardım eden düşünce ve tasar ürünü bir uygulama aracıdır. Kentsel peyzaj projeleriyle, fiziksel fırsatların yanı sıra finansal, politik ve ekonomik potansiyellerin birer fırsat olarak ele alınması kentin gelişimini sağlayacaktır (Önemli, 2007). Nitekim Dünyada ve Türkiye’de kıyı alanlarına yönelik yapılan projeler buldukları alanın gelişimini sağlamış ve kentin prestij noktası olmuşlardır.

Çalışmanın amacı önerilen peyzaj tasarım projeleri ile Kurucuşile ilçesinde yer alan liman bölgesinin fiziksel ve görsel olarak daha iyi koşullara ulaştırılması, kent halkı ile ziyaretçilere daha iyi kentsel bir mekan kazandırılması ve rekreasyonel etkinlikler için daha uygun ortamlar hazırlanmasıdır.

2. Materyal ve metot

2.1 Materyal

Kurucuşile, Bartın kent merkezine 52 km uzaklıkta Karadeniz kıyısında bulunan bir ilçedir. Kurucuşile Bartın’ın kuzey doğusunda yer alır. Kent Merkezi, Zeytin ve Sandal Burunları ile sınırlanan koylar üzerinde kurulmuştur. İlçe merkezine ulaşım Amasra ve Cide yönünden karayolu ile sağlanır (Kurucuşile Belediyesi, 2020) (Şekil 1).

Kurucuşile, Küre dağlarının batı uzantıları üzerinde olup ortalama yüksekliği 300 metre civarındadır. Yükselteler Kurucuşile’ye ulaşımı oldukça zorlaştırmaktadır. Kurucuşile, eğimli bir araziye sahiptir. Eğimdeki bu fazlalık bitki örtüsünün tahrip edildiği yerlerde erozyonu beraberinde getirmiştir. İlçe yüzölçümünün %61’ini ormanlık alandır. Ormanlarda kayın, gürgen, kestane, meşe, karaçam, sarıçam, köknar, kiraz, akçağaç, dişbudak, çınar, ıhlamur, defne, yabani fındık, kuş

üzezi, ahlat, muşmula, kızılıçık, ardıç ağaçları bulunmaktadır. Çalı, ağaçcik ve otsu bitkiler ise, orman gülü, eğrelti, ayı üzümü, böğürtlen, karaçalı, alıç, kuş üzümü, sumak, kocayemiş, taflan, kuşburnu, kartopu, çoban püsküllü, baldıran otu, ballı baba, eşek diken, gelincik, ısırğan, kabalak otu, köy göçüren, çuha çiçeği, sığır kuyruğu, kardelen, sıklemen, yonca, sütleğen dılcık, katır turnağı, sarmaşık, binbir delik otudur (Kurucaşile Kaymakamlığı, 2020).



Şekil 1. Çalışma alanının konumu (Google map, 2020a; Google map, 2020b)

İlçede tipik Karadeniz iklimi hakim bulunmaktadır. Buna göre kışları soğuk ve yağışlı yazları ise ılık ve yağışlı geçmektedir. Yıllık yağış oranı 1072 mm, yıllık ortalama sıcaklık 13.1°C, en sıcak ay 23°C ile Temmuz, en soğuk ay 4.2°C ile Aralıktır. Ortalama bağıl nem % 77'dir. En hızlı rüzgar yönü Kuzey'dir (Kurucaşile Belediyesi, 2020).

Kurucaşile nüfusu 2019 yılına göre 6.621'dir. Bu nüfus, 3.408 erkek ve 3.213 kadından oluşmaktadır. Yüzde olarak ise nüfusun %51.47'ı erkek, %48.53'ü kadındır. İlçe nüfusunun büyük bir bölümü tarım ve hayvancılığın yanı sıra, maden işçiliği ile ahşap tekne yapımıcılığı ile geçimlerini sağlamaktadır. Kurucaşile ahşap tekne yapımıcılığı konusunda yurt içinde ve yurt dışında önemli bir yeri vardır. Kurucaşile'de son 30 yıla kadar Osmanlı donanmasının savaş gemilerinden, yük gemilerine kadar pek çok gemi tipi yaratılmıştır.

Yük gemisi, balıkçı teknesi vey at bunlar arasındandır. İlçede balıkçılık da fazlaca yapılmaktadır. Balıkçılıkla geçimini sağlayan nüfusun oranı oldukça yüksektir. İlçenin en önemli gelir kaynaklarından birisi de fındıktır (Kurucaşile Belediyesi, 2020; Kurucaşile Kaymakamlığı, 2020).

Çalışma alanı Bartın ili Kurucaşile ilçesinde yer alan liman bölgesidir. Alan yaklaşık 60000 m² büyüklüktedir. Alan ilçede oturan sakinler ve farklı şehirlerden gelmiş üniversite öğrencileri tarafından kullanılmaktadır. Yazın ise denize girmek için gelen insanların da gelmesiyle alanın iki aylık sürede yoğun olarak kullanıldığı görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. (a-d) Proje alanından görünüm

Kurucaşile'nin ilçe olması sebebiyle yaşam olanakları ve ihtiyaçlara erişim bakımından çalışma alanı elverişli durumdadır. Alanda mevcut durumda mini parklar ve kafeteryalar haricinde rekreasyon ve dinlenme alanları bulunmamakla birlikte balıkçı barınağı bulunmaktadır. Bu barınaklar yat turizmi için elverişlidir. İlçenin kuzeyini Karadeniz oluşturduğundan plaja sahiptir. Bu plajlarda kent halkı ve ziyaretçiler denize girmektedir. Alanın deniz kenarında olması doğal bir manzara açısından potansiyel niteliğindedir. Alanın tasarım yapabilme ve farklı kullanımları alana getirebilme açısından geniş olması da bir avantaj durumudur. Alanda kötü görüntüye sebep olan çalılırların ve çöplerin bulunması, mevcut durumda yeterli alt yapısının bulunmaması dezavantaj yaratmaktadır.

2.2 Metod

Çalışmada öncelikle konuya ve çalışma alanına ilişkin literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra çalışma alanında yerinde yapılan gözlem ve incelemelerle alandaki sorunlar tespit edilmiş ve ihtiyaçlar belirlenmiştir. Sörvey çalışmasından sonra alanın mevcut durumu ile sahip olduğu potansiyeller değerlendirilerek bir konsept belirlenmiş ve bu konseptte göre alan kullanım kararları ile tasarım ilkeleri belirlenmiştir. 1/1000 ölçekli imar planı ve Google Earth görüntüleri kullanılarak çalışma alanı sınırları dahilinde ihtiyaç programları pafta üzerine işlenmiştir. Eskiz çalışmaları yapılarak el çizimi ile tasarım alternatifleri üretilmiştir. Kesinlik kazanan proje çizimleri AutoCad 2017 programı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Projenin nihai hali, SketchUp ve Lumion yazılımıyla modellenmiş ve projenin üç boyutlu görselleri elde edilmiştir. Çalışmada bu şekilde üretilen dört öneri proje sunulmuştur.

3. Bulgular

Alan, alanın daim kullanıcıları olan ilçe sakinleri ile gününbirlik ve mevsimlik ziyaretçilerin ihtiyaçları göz önüne alınarak, yılın her mevsimi düşünülerek tasarlanmıştır. Projelerde her yaş grubunun kullanabileceği mekanlar oluşturmak istenmektedir.

3.1 Öneri proje 1

Konsept: Doğa ve İnsan

Çalışmada bu konseptin seçilmesindeki amaç; insanın doğa üzerinde kurduğu baskıyı ve doğaya olan etkisini pozitif biçimde dengelemektir.

Çalışmada çocukların; toprağa dokunan, ağaç dalları ve kütüklerle oynayan, eğitsel ve düşünsel becerilerini arttırmayı hedefleyen, yetişkinlerin ise dalından sebze meyve toplayıp yemenin zevkini yaşayabileceği mekanlar oluşturmak amaçlanmıştır.

İhtiyaç Listesi: Ahşap teras (275m²), dinlenme ve rekreasyon alanı (800m²), çocuk oyun alanı (150m²), otopark (150 m²), meydan (300m²), amfi (450m²), yüzen sahne (100m²), plaj (100m²), plaj spor alanları (150m²), kıyı rekreasyon alanı (400m²), mevcut park yenilenmesi (110m²), tekne çekek yeri (75m²), restaurant (125m²), fener kafe (200m²)

Alana girişte bir meydan ve bu meydanı takip eden iki yönde amfi yerleştirilmiştir. Bu amfiler birbirine bağlantılı basamaklar şeklindedir. Bu amfilerin önüne bir yüzen sahne yerleştirilerek bu sahnenin değişik amaçlarla (tiyatro, konser vb.) kullanılması düşünülmüştür. Meydanı takip eden yolda otopark bu otoparkın arkasında tampon görevinde yeşil bant yerleştirilmiştir. Meydanı takip ederek çocuk oyun alanı, dinleme ve rekreasyon alanı düşünülmüş bu dinlenme alanı ahşap terasla tamamlanmıştır. Meydandan geçen ve doğu yönüne doğru ilerleyen aks takip edildiğinde plaj ve plaj aktiviteleri (voleybol, futbol vs.) için alan ayrılmıştır. Yine bu alanın deniz kıyısı tarafına bir adet teras ve bu terası takip eden bir amfi tasarlanmıştır. Bu amfi içerisinde seyyar satıcılar için yerler ayrılmıştır. Mevcutta bulunan balıkçı barınakları ve bunların arka taraftaki kıyı manzarasına bakan alan 'Kıyı Restorant' ve ön tarafında da tekne çekek yerleri konumlandırılmıştır. Deniz fenerinin olduğu yer 'Fener Kafe' konseptli bir kafeye dönüştürülerek burada da bir manzara seyir noktası oluşturulmuştur. Alanda kıyı boyunca devam eden bir yol aksı tasarlanmıştır. Kurucaşile kıyısını yeniden düzenlemek amacıyla yapılan bu tasarım projesinde alanda mevcut bulunan iki adet giriş korunmuştur ve alana girişler yine bu noktalardan sağlanacaktır. Alana güneybatı cephesinden girildiğinde solda 110 araçlık bir otopark konumlandırılmıştır. Otopark çevresi araçlara da gölge oluşturması amacıyla ağaçlarla çevrelenmiştir. Otoparkın ön bölümünde bir meydan planlanmıştır.

Meydan ile deniz arasında bağlantı birbirini takip eden 3 adet amfi ile sağlanmıştır. Bu amfiler gerek gösteriler sırasında gerekse güneşlenmek ve dinlenmek gibi farklı aktiviteler amacıyla kullanılabilir. İkinci amfinin önünde 1 adet yüzen sahne düşünülmüştür. Bu sahne yine farklı

gösterilere ev sahipliği yapmak adına tasarlanmış ve amfi ile desteklenmiştir. Meydandan kuzey yönüne ilerlendiğinde sol tarafta bir adet futbol sahası ve bir adet boş saha tasarlanmıştır. Boş bırakılan saha farklı spor faaliyetlerinde kullanılabilir. Spor alanlarından sonra kıyı boyunca devam eden ahşap zemin ile birleştirilmiş ve içerisinde tepe bulunan bir alan oluşturulmuştur. Bu tepe ile birlikte alanda kot farklılıkları oluşturularak hareket sağlanmış ve farklı manzara noktaları oluşturulmuştur. Güneybatı girişinden alanın doğu yönüne doğru kıyı boyunca kumsal ve araç yolunu takip eden ahşap bir yürüyüş bandı oluşturulmuştur. Bu band sayesinde denizden çıkan insanlar direk araç yoluna çıkmadan yürüyüş

yapabilme fırsatı bulacaklardır. Alanın doğu bölümünde bulunan ve denize bağlanan derenin çevresi de onarılmıştır. Kıyıya yürüyüş yolları, karşıya geçişler için iki adet köprüyle beraber su üzerinde taş zeminler oluşturulmuştur. Yine bu bölümde denize bakan kısımda ahşap bir teras ve terası takip eden bir amfi ile bütünlük sağlanmıştır. Amfiden sonra oluşturulan küçük çim tepelerin denize bakan bölümleri tekne çekek yeri olarak değerlendirilmiştir. Bu band ilerde bir iskeleye dönüştürülmüştür. Mendireğin en sonuna manzara özelliğinden de yararlanarak yarı cam yarı ahşap malzemeden tasarlanmış 'Fener Kafe' oluşturulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. (a-h). Öneri proje 1 den görünümeler

3.2 Öneri proje 2

Konsept: Dalga

Dalga konsepti ile informal tasarımlar yaparak su etkinin karada da devamının sağlanması düşünülmüştür. Dalganın akıcı ve rahatlatıcı etkisini alan kullanıcılarına yansıtmak planlanmıştır.

İhtiyaç Listesi: Kafeterya (150m²), seyir terası (30m²), restoranlar (200m²), parklar (600m²),

otoparklar (200 m²), su spor alanı, gösteri alanı (250m²)

Alana hareket katmak için keskin hatlara sahip kıyı kesimi dalga konsepti doğrultusunda informal tasarımlar ile yeniden şekillendirilmiştir. Alanın girişinde otopark düşünülmüştür. Alanda bulunan parklar genişletilerek yenilenmiş böylece yeşil dokuyu artırılmıştır. Park içinde çocuk oyun alanları, spor alanları, dinlenme alanları, yürüyüş yolları gibi alanlara yer verilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. (a-h) Öneri proje 2 den görünümeler

Üzerinde oturma alanlarının bulunduğu iskeleler tasarlanmıştır. Gösteri, şenlik gibi etkinlikler için amfi formunda bir gösteri alanı düşünülmüştür. Hem kent insanı hem de dışarıdan gelecek kullanıcılar için deniz kıyısında restoran ve kafeteryalara yer verilmiştir. Sahilde insanların yüzebileceği bir plaj oluşturulmuştur. Su sporları için alan ayrılmıştır. Projenin büyük bölümünü kapsayan parkta konsept doğrultusunda birçok yürüyüş yolları tasarlanarak kullanıcıların yeşil doku içinde iyi vakit geçirmeleri amaçlanmıştır. Mevcutta bulunan mendireğin en son noktasında seyir terasına yer verilerek kullanıcılar için fotoğraf çekim noktası ve manzara seyri için alan oluşturulmuştur (Şekil 4).

3.3 Öneri proje 3

Konsept: Rota

Kurucaşile kıyı peyzaj tasarım projesinde konsept olarak “Yıldız” düşünülmüştür. Bu konsept projemizde çizgisel olarak görülüp ön planla olacaktır. Aynı zamanda projede ‘Engelsiz Sahil’ düşünülmüştür. Alan içinde uygulanacak olan tasarımlar her kesimden insana hitap edecek şekilde olacağı için bu konseptte karar verilmiştir.

İhtiyaç listesi: Otopark (200m²), karşılama alanı (250m²), spor alanı (300m²), teras (50m²), kafe (100m²), restaurant (150m²), açık hava sineması (100m²), sergi ve satış stantları (100m²), çocuk oyun alanı (150m²)

Alana girişte yıldız formunda denize çıkıntısı olan bir karşılama alanı düşünülmektedir. Meydanda bitki kasaları, bilgilendirme panoları bulunup sert zemin döşeme farklılıklarıyla yönlendirmeler amaçlanmıştır. Meydanın hemen yanında 35 araçlık otopark planlanmıştır. Meydandan devam ettiğimizde iki alternatif yol bulunup hem amfiye ulaşım hem de seyir terasına ulaşım sağlanacaktır. Spor alanında basketbol ve futbol sahaları minyatür olarak düşünülmüştür. Buradaki oyunları ister amfiden ister seyir terasından izleme fırsatı sunulacaktır. Projede sahil kısmında engelli insanlar için özel bir mekan planlanmıştır. Otopark ulaşımın kolay olması için hemen sahilin arkasında konumlandırılmıştır. Alanın kuzeybatısında zemin ile aynı seviyede denizde ayakları bulunan teras konumlandırılmıştır. Bu mekandan denize girilebilecektir. Aynı zamanda terasa oturma alanları ve bitki kasaları eklenecektir. Teras seyir noktası ve güneşlenme alanı olarak da kullanılabilir.

Tekne atölyeleri eski yerlerinden kaldırılıp sahilin doğu kısmına alınmış burada atölyelere ait çekek yeri, sergi alanı, ziyarete gelen insanlar için küçük çaplı üretimler için alan düşünülmüştür. Ana aksdan devam edince alanın doğusunda uç kısımda kafe düşünülmüştür. Kafenin yanında bulunan alanda dinlenme ve rekreasyon alanı planlanıp sahil ile olan iç kesimlerde hem estetik amaçlı hem de alanla bağlı olacağı düşünülerek engelsiz kıyı kullanımlarına uyumlu olarak teras tasarlanmıştır. Bu alanların yanında hakimiyet ve gözlem açısı rahatlığından dolayı çocuk oyun alanı tasarlanmıştır. Devamında rekreasyon alanı ve kültür yolu bulunmaktadır. Bu alanlarda ise denize giriş noktası, satış stantları, sokak müzisyenleri için düşünlen mekan, duvar boyama alanları yer almıştır. Sahilde ekstra olarak voleybol sahası, güneşlenme yerleri ve yarım ay şeklinde iskele tasarlanmıştır. Sahilden çıkıldığında arkadlı yoldan geçildiğinde balıkçı teknelerinin sığınması için iskele tasarlanmıştır. Bu alanda aynı zamanda fitness gibi spor aletleri de konumlandırılmıştır. Yaz ve ilk bahar akşamları için alanda açık hava sineması düşünülmüştür. Bu alanda belirli günlerde ise yerel halk pazarı kurulması amaçlanmıştır. En uç kısımda ise restaurant bulunup eğimli şekilde gelen çatı bahçesi kısmından restaurantın terasına çıkılabilmesi sağlanmıştır (Şekil 5).

3.4 Öneri proje 4

Konsept: Rengarenk

Konsept, denizin mavisıyla birlikte her mevsim renklenen bitkiler ile çeşitli kent donatıları ve farklı renkte yüzey kaplamaları ile görsel şölen oluşturulması sebebiyle seçilmiştir.

İhtiyaç Listesi: Meydan (300m²), aktif rekreasyon alanı (250m²), seyir iskelesi (50m²), plaj, çay bahçesi (100m²), oturma alanı (150m²), balıkçı barınağı (100m²), çocuk oyun alanı (300m²), bisiklet ve yürüyüş yolu

Projede otoparka yakın olarak planlanan meydan birçok etkinliklerin düzenlenebilmesi amacıyla oluşturulmuştur. Bu alanda ağaç altı oturma birimleri bulunmaktadır. Meydanın deniz manzarasına hakim noktasında restoran ve kafeler bulunmaktadır.

Alanda oluşturulan aktif rekreasyon alanında voleybol, tenis gibi spor aktivitelerinin yapılabileceği bir alan oluşturulmuştur. Bu alan genellikle gençlerin kullanılabileceği bir mekan olacaktır.



Şekil 5. (a-f). Öneri proje 3 den görünüm

Ahşaptan ve kıvrımlı olarak deniz manzarasının seyri için bir iskele uygun görülmüştür. Bu iskelede insanlar oturup deniz manzarasını seyredebilecekler ve dinlenebileceklerdir. Plaj alanının da ahşaptan yapılmış soyunma kabinleri bulunmaktadır. Soyunma kabinine yakın wc yer almaktadır. Plaj kenarında gerekli malzemelerin satılabileceği satış birimleri konumlandırılmıştır. Çay Bahçesi seyir iskelesine yakın konumdadır. Alan da bitkilendirme ile birlikte mor renk tonlarında oturma birimleri kullanılmıştır. Balıkçı barınağı tekne çekek yerine olarak konumlandırılmıştır. Barınak balıkçıların

kayıklarını bıraktıkları, av araç ve gereçlerini depoladıkları bir alan olacaktır. Çocuk oyun alanında renkli oyun elemanları kullanılmıştır. Denizin hemen yanında bulunan çocuk oyun alanında bitkisel perdeleme yapılmıştır. Bisiklet ve yürüyüş yolu deniz manzarasını seyretmek için sahil kenarına planlanmıştır. Yol boyunca gölgeleme amaçlı ağaçlandırma yapılmıştır. Ahşaptan ve kıvrımlı olarak deniz manzarasının seyri için yapılmış bir seyir iskelesi mor renkli bitkiler ve banklarla birlikte kullanılarak alanda ilgi çekici olması sağlanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. (a-h) Öneri proje 4 den görünümler

4. Sonuçlar

Öneri projelerde ortak ihtiyaçlar temelinde farklı bitkisel ve yapısal elemanlar ile tasarım çizgileri olan projeler ortaya çıkarılmıştır. Proje önerileri; doğal ve kültürel değerlerin korunmasına yönelik fikirler ile mekan zenginliği (çeşitliliği) açısından değerlendirmeye alınmıştır. Seçilen tasarım alternatiflerinde öncelikle projeden beklentiler belirlenmiştir. Alanda bulunan sorunların giderilmesi, mevcut potansiyelin geliştirilmesi ve

kullanıcıların istek ve ihtiyaçlarının karşılanmasında konsept dahilinde çözümler üretilmiştir.

Öneri peyzaj tasarımlarında uyulan genel planlama ilkeleri şöyledir:

- Projelerde alanın fiziksel ve görsel kalitesinin artması, öneri rekreasyon alanları ile ziyaretçi kapasitesinin artırılması ve kent ekonomisine katkı sunması hedeflenmiştir.
- Alanda küçük ticaret birimleri önerilmiş, zanaatlara yönelik aktivite alanları planlanmıştır.

- Alanda 1. ve 2. dereceden yaya ulaşımı ön planda tutulmuş, bisiklet yolları düşünülmüştür.
- Alana getirilen yapılarda alanın tarihi değerine uygun, doğal algıyı güçlendiren yapılar tercih edilmiştir.
- Alanda geniş yeşil alanlar oluşturularak bitkisel tasarımlar önerilmiştir.
- Otopark alanlarının tasarlanması ile alan çevresindeki araç yoğunluğunun ve alan içinde taşıt kullanımının azaltılması düşünülmüştür.
- Güncel durumda gece kullanımı kısıtlı olan alan kent halkı ve kullanıcıları için güvenlik sorunu oluşturmaktadır. Bu nedenle alanda gece

aydınlatmaları da tasarlanarak alanın günün her saatinde güvenli olarak kullanılabilmesi ve canlılığı sağlanmıştır.

Tablo 1'e bakıldığında önerilen 4 konsept projenin alanda ihtiyaç olarak görülen ve kullanıcılar tarafından belirtilen kullanımları karşıladığı görülmüştür. Çalışmada önerilen projelerin gerçekleşmesi durumunda alan kent halkı ve ziyaretçiler için kent kimliğine yeni bir referans olacak, söz konusu alanda yaşayanların kentsel yaşamını zenginleştirici bir rol üstlenecektir.

Tablo 1. Öneri projeler ve kullanım alanları (* projede var olduğunu göstermektedir)

Öneri Projeler Kullanım alanları	Öneri proje 1	Öneri proje 2	Öneri proje 3	Öneri proje 4
Amfi	*	*	*	
Balıkçı barınağı	*	*	*	*
Bisiklet yolu				*
Çocuk oyun alanı	*	*	*	*
Dinlenme ve rekreasyon alanı	*	*	*	*
Kafe	*	*	*	*
Meydan/gösteri alanı	*	*	*	*
Otopark	*	*	*	*
Park	*	*		
Plaj spor alanı	*	*		
Restaurant	*	*	*	*
Sergi ve satış stantları			*	*
Seyir terası	*	*	*	*
Spor alanı	*	*	*	*
Tekne çekek yeri	*	*	*	*

Teşekkür

Çalışmada emeği geçen Şeyma Kahraman, Uğur Hatinoğlu, Ömer Mercimek ve Zeynep Erçen'e teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

Doğan, E. ve Erginöz, M.A. (1997). *Türkiye'de Kıyı Alanları Yönetimi ve Yapılaşması*. İstanbul, Arion Yayınevi.

Google map (2020a, 10 Eylül). Kurucaşile Haritası, Erişim adresi <https://www.google.com.tr/search?q=kuruca%205%9File+harita&sxsrf=>

Google map (2020b, 11 Eylül). Kurucaşile Uydu Görüntüsü, Erişim adresi, <https://www.google.com.tr/maps/place/Kuruca%205%9File,+Bart%20C4%B1n/@41.8431572,32.7152462,15z/>.

Kılıç, A. (1999). *Kıydan geri çekilme sürecinde kent-kıyı ilişkisi, kentsel kıyı tanımı ve bu kavrama*

dayalı kentsel kıyı gelişme stratejileri: İstanbul örneği. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Kurucaşile Belediyesi. (2020, 10 Eylül). Kurucaşile Belediyesi Resmi Web Sitesi, Erişim adresi <https://www.kurucasile.bel.tr/>

Kurucaşile Kaymakamlığı. (2020, 11 Eylül). T.C. Kurucaşile Kaymakamlığı, Erişim adresi, <http://www.kurucasile.gov.tr/>

Lash, S. and Urry, J. (1994). *Economies of Signs & Space*, Sage Publ., London.

Önemli, S. (2007). *Stratejik planlama - kentsel projeler ilişkisi ve kentsel kıyı tasarımı: istanbul tarihi yarımada kıyı bandı üzerine bir irdeleme*, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Van der Ryn, S., Cowan, S. (1996). *Ecological Design*, Island Pres, California, 202 p.

Production and characterization of zinc oxide nanoparticles in microsystems via green synthesis

Yeşil sentez yoluyla mikrosistemlerde çinko oksit nanopartiküllerin üretimi ve karakterizasyonu

Şeref AKAY*^{1a}, Melike SEFAOĞLU ^{2,b}

¹ Gumushane University, Department of Genetics and Bioengineering, 29100, Gumushane

²Gumushane University, Institute of Natural Sciences 29100, Gumushane

• Geliş tarihi / Received: 02.11.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 07.01.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 21.01.2021

Abstract

Nanoparticles (NP), which can be produced for many different fields and purposes; are at size vary from nanometer to a micrometer. These particles can be prepared by different approaches such as chemical, physical and biological methods. However, the biological approach is the most promising approach among other methods due to its simplicity and environmentally friendly conditions. The production of the nanoparticle by means of a biological approach does not require any high temperature, acidic/basic conditions and hazardous chemicals. Therefore, this method is named “green synthesis”. Development in microtechnology has had profound effects in many areas such as drug discovery, biology, diagnosis, and tissue engineering. Microfluidics which focuses on the processing of liquids in microscale systems has attracted wide attention in the production process of nanoparticles due to precise control and fast mixing. The main purpose of this study is to produce and characterize metal nanoparticles by combining microsystems and green synthesis approaches. For this purpose, in the first step, the design of microsystems that suitable for the flow of different phases was performed. In the second step, ZnO nanoparticle synthesis was carried out using the red cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *Rubra*) extracts. The synthesis of nanoparticles achieved by optimizing different parameters such as; extract: zinc ratio, zinc solution concentration, flow rates, and flow rates ratio in the microsystem and temperature. The results showed that the herbal red cabbage components can be used for the green synthesis of ZnO nanoparticles.

Keywords: Green synthesis, Microfluidics, Nanoparticle, Red cabbage, Zinc

Öz

Birçok farklı alan ve amaç için üretilebilen nanopartiküller (NP); nanometreden milimetrenin binde biri kadar değişen boyutlara sahiptirler. Bu partiküller farklı kimyasal, fiziksel ve biyolojik yaklaşımlarla hazırlanabilir. Ancak yöntemler arasında biyolojik yaklaşım, basit olması ve çevre dostu koşulları nedeniyle en umut verici yaklaşımdır. Biyolojik yaklaşım ile nanoparçacık üretimi, yüksek sıcaklık, asidik / bazik koşullar ve tehlikeli kimyasallar gerektirmez. Bu nedenle, bu yöntemler “yeşil sentez” olarak adlandırılmaktadır. Mikroteknolojideki gelişmeler, ilaç keşfi, biyoloji, teşhis ve doku mühendisliği gibi birçok alanda derin etkiler yaratmıştır. Mikro ölçekli sistemlerde sıvıların işlenmesine odaklanan mikroakışkanlar, hassas kontrol ve hızlı karıştırma sayesinde nanopartiküllerin üretim sürecinde büyük ilgi görmüştür. Bu çalışmada temel amaç mikrosistemler ve yeşil sentez yöntemlerini birleştirilerek metal nanopartiküllerin üretimi ve karakterizasyonunu gerçekleştirmektir. Bu amaçla ilk adımda farklı fazlarını akışına uygun mikrosistemlerin tasarımı gerçekleştirilmiştir. İkinci adımda kırmızı lahana (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) ekstraktı kullanılarak ZnO nanopartikülleri sentezi gerçekleştirilmiştir. Bitki ekstraktı: çinko oranı, çinko çözeltisi derişimi, mikrosistemde akış hızları ve akış hızları oranı ve sıcaklık gibi farklı parametreler optimize edilerek en uygun üretim koşulları belirlenmiştir. Sonuçlar, kırmızı lahana bileşenlerin ZnO nanopartiküllerin yeşil sentez yoluyla üretilebileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Yeşil sentez, Mikroakışkan, Nanopartikül, Kırmızı lahana, Çinko

*a Şeref AKAY; akayseref@gmail.com, Tel: 0 456 233 10 00, orcid.org/0000-0001-6829-1279

^b orcid.org/0000-0002-6319-2079

1. Introduction

Nanotechnology is a highly interdisciplinary field of application to control the structure of matter at the nanoscale. It involves a variety of scientific and engineering knowledge including chemistry, physics, biology, electrical engineering, mechanical engineering (Aslani, 2012). Nanoparticles are used in many fields from basic materials research to biomedical applications. Sensing applications such as protein, metal, DNA, and virus analysis, are frequently using nanoparticles for the advantage of their optical properties. Nanoparticles have also been used in applications such as bacteria detection in food and seafood and are suitable carriers for various biological agents such as drugs, viruses, cells, etc. Nanoparticles are synthesized from a diversity of common chemical assemblies such as metal, silicates, non-oxide ceramics, polymers, carbon, and biomolecules (Xu et al., 2006).

Different chemical and physical approaches have been applied for the synthesis of nanoparticles. Many of them are consist of toxic chemicals and harsh conditions since the biocompatibility of synthesized particles are suspicious (Katmis et al., 2018). Because this hazardous materials and techniques lead to significant toxic problems, alternative approaches are required for synthesis of nanoparticles with the important properties such as size, physicochemical properties, low cytotoxicity, and biocompatibility maintained. One of the most promising method is green synthesis which using plants, bacteria, fungi, yeast, algae, viruses, etc. (Shivaji et al., 2018).

Green synthesis, known as cheap, efficient, and environmentally friendly "green" production, has become an alternative to other methods in recent years (Makarov et al., 2014; Sefaoğlu, 2020). Green synthesis is not only an economical and environmentally friendly method but also can be applied to large- scale production. Eliminating the use of high pressure, high temperature and toxic chemicals in the production process is another advantage of green synthesis methods (Chintamani et al., 2018; Garibo et al., 2020).

Among numerous natural sources used for the synthesis of nanoparticles, different parts of plants such as leaves, roots, and stems are the most proper candidates, and nanoparticles obtained from these sources are found to be more stable, have various sizes and shapes, and the production is faster than other biological agents. Moreover, nanoparticles produced by green synthesis are reported as more effective than chemically synthesized

nanoparticles regarding bioactivity. Therefore, many plants and their extracts have been reported to be used in the production of various metal nanoparticles, especially copper, silver, and zinc (Mittal et al., 2013; Igwe and Ejiako, 2018). Although the exact mechanism that takes place in metal nanoparticle synthesis from plant extracts is not known, it is reported that nanoparticle formation occurs in the form of reduction, aggregation, and nanoparticle development (Jain and Mehata, 2017). A wide variety of metabolites and phytochemicals such as flavones, ketones, organic acids, aldehydes, and amides found in plant extracts are thought to be responsible for the reduction of metal ions due to their antioxidant and reducing effects (Bhuyan et al., 2015).

In the last decade, inorganic metal oxides have been widely used as antioxidants, antibacterial, antifungal, and anticancer agents. Zinc oxide (ZnO) nanoparticles are one of the leading nanostructures due to their diverse properties and widespread utilization in a variety of applications field such as electronics (sensors), diagnostics (UV- and photodetection), energy (solar cells), and biomedical (antimicrobial or antitumor agents) (Deng et al., 2008; Anbuvaran et al., 2015; Singh et al., 2018).

Compared to traditional methods, microsystems stand out as they having the advantage of allowing high heat and mass transfer. The rapid mass and heat transfer in a microenvironment enable the chemical synthesis with enhanced efficacy and reproducibility. In addition, the reduction of sample volumes and the ability to strictly control the reaction parameters (e.g temperature), are the other superiorities of microsystems (Luan et al., 2008; Akay et al., 2017). The most employed method for fabricating microdevices is Soft photolithography. However, this technique comprises time-consuming steps such as mask design, substrate preparation, photoresist development, UV exposure, etc, and most of these steps have to be completed in a clean room.

Many studies reporting red colored plants, which are an indispensable part of our diets, are rich in phytochemicals such as vitamins, beta-carotene, and lycopene (Çötel and Karataş, 2016). Phenolic compounds constitute the largest group of phytochemicals (Güzel and Akpınar, 2019). Red cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *Rubra*) is a plant rich in polyphenols and anthocyanins. So far, about 36 anthocyanins have been identified in red cabbage and it has been found that the bioactivity of red cabbage is directly related to the

total amount of anthocyanin. Recent studies show that red cabbage is effective in preventing some types of cancer, and is certain heart diseases (Dyrby et al., 2001; Wu et al., 2006; Charron et al., 2007).

Different approaches for the production of red cabbage extract directed silver and gold nanoparticles have been reported (Demirbas, et al., 2016; Ocoy et al., 2017; Unal, et al., 2020). In this study, it was aimed to synthesize Zinc Oxide nanoparticles in microsystems by green chemistry techniques using aqueous extracts of red cabbage. Furthermore, the effects of parameters such as zinc concentration, flow rate, and temperature on nanoparticle synthesis were investigated.

2. Materials and methods

Red cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *Rubra*) used in this study was obtained from local markets. All the chemicals such as Zinc Nitrate ($Zn(NO_3)_2$), Sodium Hydroxide (NaOH) Acetic Acid, Ethanol were of analytical grade and obtained from Sigma Aldrich (Germany) and Merck (Germany).

2.1. Preparation and extraction of herbal materials

Red cabbage obtained from local markets was cut into small pieces and left to dry at 40 °C for 2-7 days. The dried samples were grounded into powder using a laboratory blender (Waring 8011 EB, USA). 1 g of powder was taken and extracted with 50 ml of distilled water for 20 minutes at room temperature using ultrasonic bath (Wis-

WUCD10H, Korea). Subsequently, the samples were filtered through filter paper, and the plant pulp was discarded. The obtained extract was then subjected to centrifugation (4500 rpm for 5 minutes) to remove possible residues (Beckman Coulter Allegra X-30R, USA). The supernatant obtained was used in the production of nanoparticles.

2.2. Green synthesis of nanoparticles

In order to eliminate problems of conventional microfabrication techniques, two alternative methods that can be applied to all laboratories were developed. A microsystem based on the flow focusing principle has been designed for nanoparticle production. Simply, a 1 mm channel was opened in a plexiglass layer with the help of a drill and an insulin syringe needle with an inner diameter of 120 μm (31G) was inserted horizontally into the drilled channel. In addition, microfluidic platforms consist of 250 μm channels and different inputs and outputs were also designed and fabricated using 3D printer technology and tested (Figure1).

For the synthesis of Zinc Oxide nanoparticles, it was aimed to produce nanoparticles by mixing the herbal extract obtained from red cabbage with the different concentrations of the Zinc Nitrate in microchips. The aqueous extract (dispersed phase) was fed from one of the microchip's inlet, while the Zinc Nitrate solution (continuous phase) connected to the other inlet, and it was expected the two solutions mixed along the channels of the microchip to form the nanoparticles.

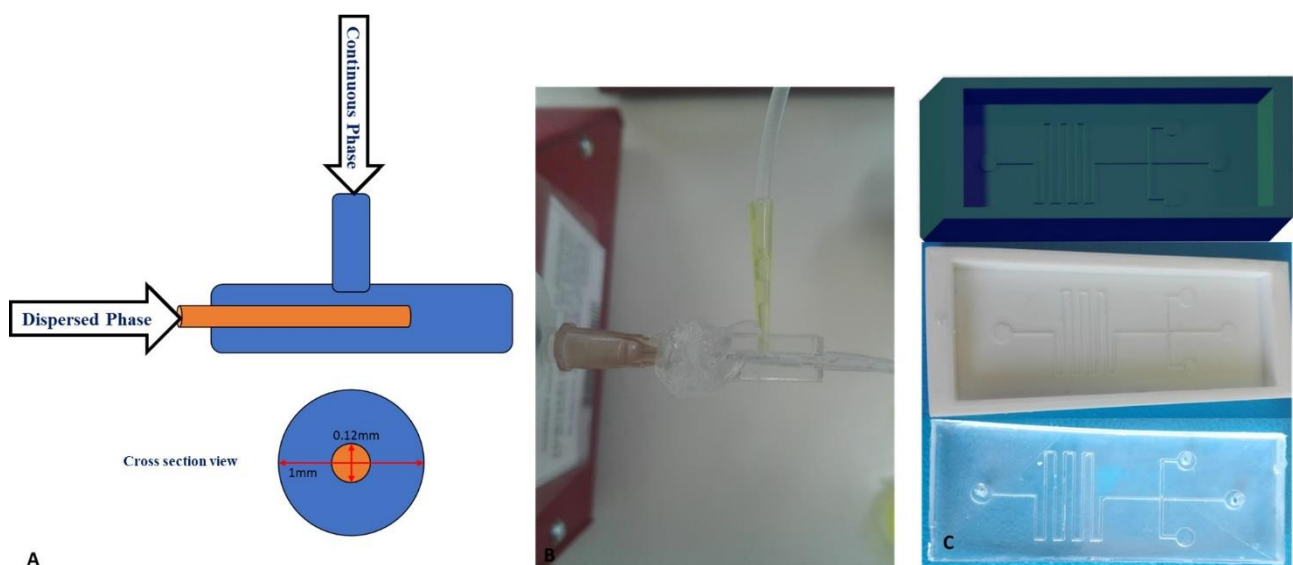


Figure 1. Microsystem used for nanoparticle synthesis; A-B; Syringe based flow-focusing microdevice, C; 3D printed microchannel

The samples collected from the microchips were centrifuged (14000 rpm for 10 min.) to separate the nanoparticles. This step was repeated 2 times by adding distilled water to remove the extracts completely. The samples were suspended in distilled water for further characterization. During

the synthesis of nanoparticles; the effect of different parameters such as flow rate, extract: Zinc Nitrate ratio, Zinc Nitrate concentration, and temperature in the channels have been investigated. The experimental conditions are summarized in Table 1.

Table 1. The experimental conditions for nanoparticle synthesis

Sample	Microsystem	Dispersed Phase	Continuous Phase	Dispersed Phase flow rate ($\mu\text{l}/\text{min}$)	Continuous Phase flow rate ($\mu\text{l}/\text{min}$)	Flow rate ratio	Temperature
M7	3D printed	red Cabbage extract	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 5mM	20	40	1:2	Room
M8	3D printed	red cabbage extract	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 5mM	20	100	1:5	Room
M9	3D printed	red cabbage extract	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 5mM	100	100	1:1	Room
M15	3D printed	red cabbage extract	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 2.5mM	5	10	1:2	40
M16	3D printed	red cabbage extract	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 2.5mM	5	20	1:4	40
M17	3D printed	red cabbage extract	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 5mM	10	20	1:2	40
IS1	Syringe flow focusing	red cabbage extract	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 10 mM	25	50	1:2	50
IS2	Syringe flow focusing	red cabbage extract	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 10 mM	50	100	1:2	50
IS3	Syringe flow focusing	red cabbage extract	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 10 mM	2	10	1:5	50
IS4	Syringe flow focusing	red cabbage extract	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 10 mM	75	75	1:1	50
IS27	Syringe flow focusing	red cabbage extract	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 10 mM	2	4	1:2	50
IS28	Syringe flow focusing	10 mM $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	red cabbage extract	25	50	1:2	50

2.3. Characterization of ZnO nanoparticles

UV-visible Spectroscopy Analysis: the synthesized ZnO nanoparticles were suspended in distilled water to measure their absorbance which could be the sign of ZnO nanoparticle formation. The UV-Vis measurements were carried out within the wave-length range of 200–800 nm using a UV-Vis spectrophotometer (Thermo, USA).

Dynamic Light Scattering (DLS) Analysis: was performed for measurement of size and size distribution of produced zinc nanoparticle using Particle Size Analyzer (Malvern Zetasizer Nano ZSP, USA). Distilled water was used as a dispersant.

Scanning Electron Microscopy Analysis; ZnO nanoparticles were further characterized for surface morphological properties using Scanning Electron Microscope (SEM) coupled with an EDX

(Energy dispersive X-Ray spectrometer) probe (Zeiss Sigma 300). Composition and particle size were also investigated.

2.4. Antimicrobial activity of ZnO nanoparticles

The prepared nanoparticles were tested to evaluate the antimicrobial activity against Gram-negative (*Escherichia coli*) and Gram-positive (*Staphylococcus aureus*) bacteria. For this purpose, the agar well assay was performed. 6 mm diameter wells were opened on the agar layer in the Petri dishes and 80 μL of samples to be tested were added to the wells (0.2-1 mg/ml). After 24 hours of incubation at 37 °C, the plates were observed. Ampicillin (50 mg / mL), red cabbage extract, Zinc Nitrate (5 mM), and the supernatant obtained from the particles were used as control.

3. Results and discussion

3.1. Synthesis and optimization of nanoparticles

The simplest method to understand the formation of nanoparticles is the maximum absorption wavelengths. Therefore, samples have been

examined first by UV spectrophotometry. The maximum UV peaks for ZnO nanoparticles were recorded at around 330 nm (Figure 2). Since, all oxide materials, particularly at the nanoscales, have shorter wavelengths (Naseer et al., 2020) the observed results fit the typical ZnO absorption pattern.

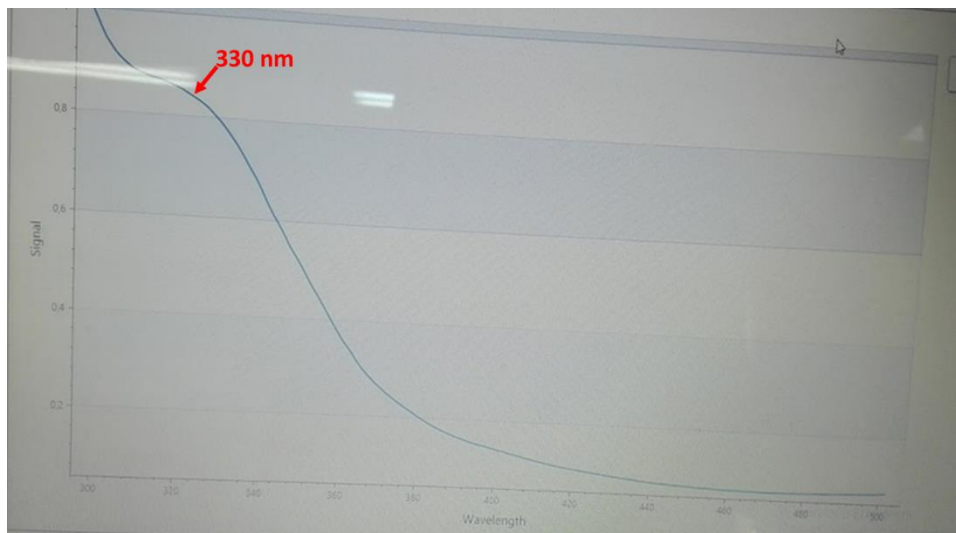


Figure 2. UV spectrum of ZnO nanoparticles

In the experiments performed on 3D printed microchips (Table 1), red cabbage extract was treated with the Zinc Nitrate at different concentrations and different flow rates. There was no particle formation observed at room temperature. However, although particle formation was observed in the experiments performed at 40°C, it was detected that the synthesized particles had very different size ranges and did not have the proper homogeneity. In the experiment where the flow rate ratio was 1:2, the Zinc Nitrate concentration was increased to 5 mM (M17), size and monodispersity of particles have been improved but the expected nanoparticle range in terms of size still could not be reached (Data are not shown). The possible reason for these results might be related to 3D printing microchannel due to backpressure and leakage problems which lead to an unbalanced flow of phases. Because of these problems, these microchips could not be used for enough time for particle formation. On the other hand, results showed that increasing the ratio of flow rates, which means increasing the continuous phase flow rate, has a positive effect on the size and the distribution of particles. Similarly, it has been determined that keeping the Zinc Nitrate concentration high has a positive effect on both size and size distribution.

In the studies performed with the syringe-based flow-focusing microsystem, the zinc Nitrate concentration was selected as 10 mM and the temperature as 50°C in light of the previous results mentioned above. In the experiment (Table 1.; IS1) where the flow rate of the red cabbage extract was 25 $\mu\text{l} / \text{min}$ and the Zinc Nitrate flow rate was 50 $\mu\text{l}/\text{min}$ (flow rate ratio 1:2), it was found that the produced particles were smaller (1044 nm) and more homogeneous compared to the particles produced in 3D printed microchips (Figure 3A).

In the case where the flow rate ratio was kept constant as 1:2 and the flow rates of both phases were increased by 2 times (Table 1; IS2), it was observed that the particle size increased slightly (1153 nm) compared to low flow rates, however, the particle size distribution was more homogeneous (Figure 3B). Flow rates ratio were then changed to 1:5, and both phases were fed at lower rates (Table 1; IS3). It was determined that both particle sizes (1354 nm) and homogeneity were negatively affected (Figure 3C). If the flow rate of the extract and the Zinc Nitrate are the same (75 $\mu\text{l} / \text{min}$) (flow rate ratio; 1:1) (Table 1; IS4), it was determined that the sizes of the obtained particles (980 nm) decreased significantly (Figure 3D). It has also been observed that for the very low flow rates (Table 1.; IS27. extract; 2 $\mu\text{l} / \text{min}$, zinc nitrate; 4 $\mu\text{l} / \text{min}$), the size and homogeneity of the

particles have been affected negatively (Figure 3E).

To see the dispersed and continuous phase effects, the feed of the Zinc Nitrate and the extract were

replaced and the flow rates ratio were set to 1:2 (Table 1; IS28). Accordingly, the particles with relatively small size (718 nm) and homogeneity were produced under these conditions (Figure 3F and 4).

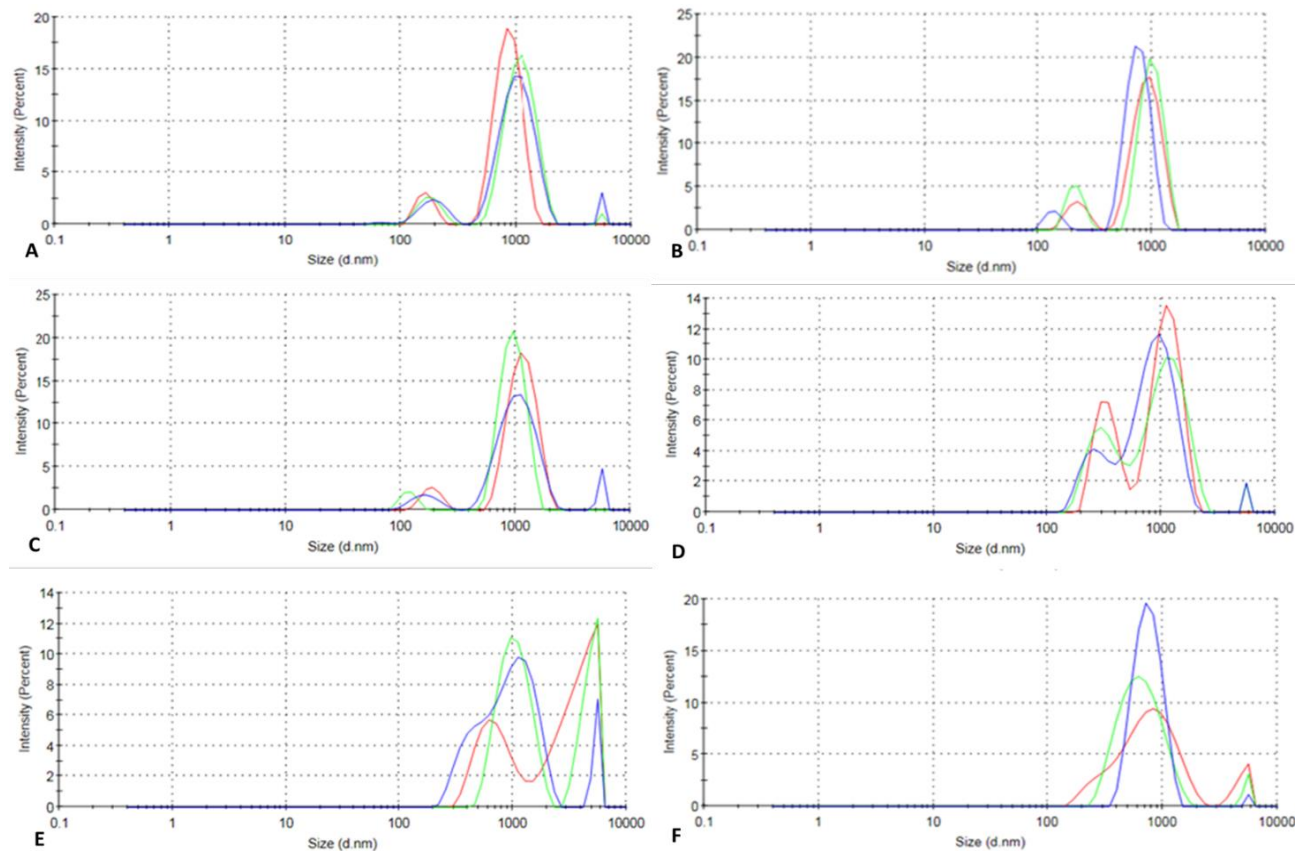


Figure 3. DLS analysis of nanoparticles produced under different conditions

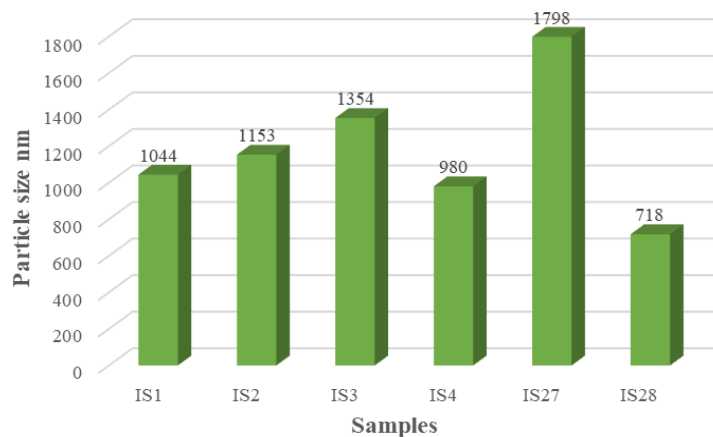


Figure 4. Mean particle size of samples produced under different conditions

The results showed that there is no strong relationship between the flow rate ratio and the particle size or distribution, but it can be proposed that feeding the phases at higher and near flow rates might be effective to obtain smaller size particles. There is no study on green synthesis methods of ZnO nanoparticles in microfluidic systems. On the

contrary, in conventional chemical synthesis methods, the flow rate is mostly used to control the residence time and reaction time in the microchannel (Luan et al., 2008) and it has been reported that smaller nanoparticles are formed at lower flow rates (Ji et al., 2011). However, considering the flow-focusing microsystems, it has

been reported that the synthesized nanoparticles are smaller when the flow rate (particularly the continuous phase flow rate) is high. It is predicted that mass transfer between phases occurs by convection rather than diffusion at high flow rates (Pessoa et al., 2017), and therefore the reducing compounds in red cabbage extracts interact with Zinc rapidly to form nanoparticles faster.

The sample produced in the optimized conditions (IS28) were subjected to further characterization.

3.2. SEM and EDX analysis of ZnO nanoparticles

The structural characterizations and elemental composition of synthesized ZnO nanoparticles

were explored using SEM equipped with an EDX. The SEM investigation showed that nanoparticles with nearly spherical-like shapes and quite homogeneous distribution have been synthesized as is shown in Figure 5. Furthermore, it was observed that the size of nanoparticles was even smaller as it was determined by DLS analysis.

The existence of 3 different peaks was observed as expected in Figure 6 in EDX analysis. These peaks are C and O peaks most probably arising from organic compounds in herbal extracts used in green synthesis and Zn peaks representing the metal component.

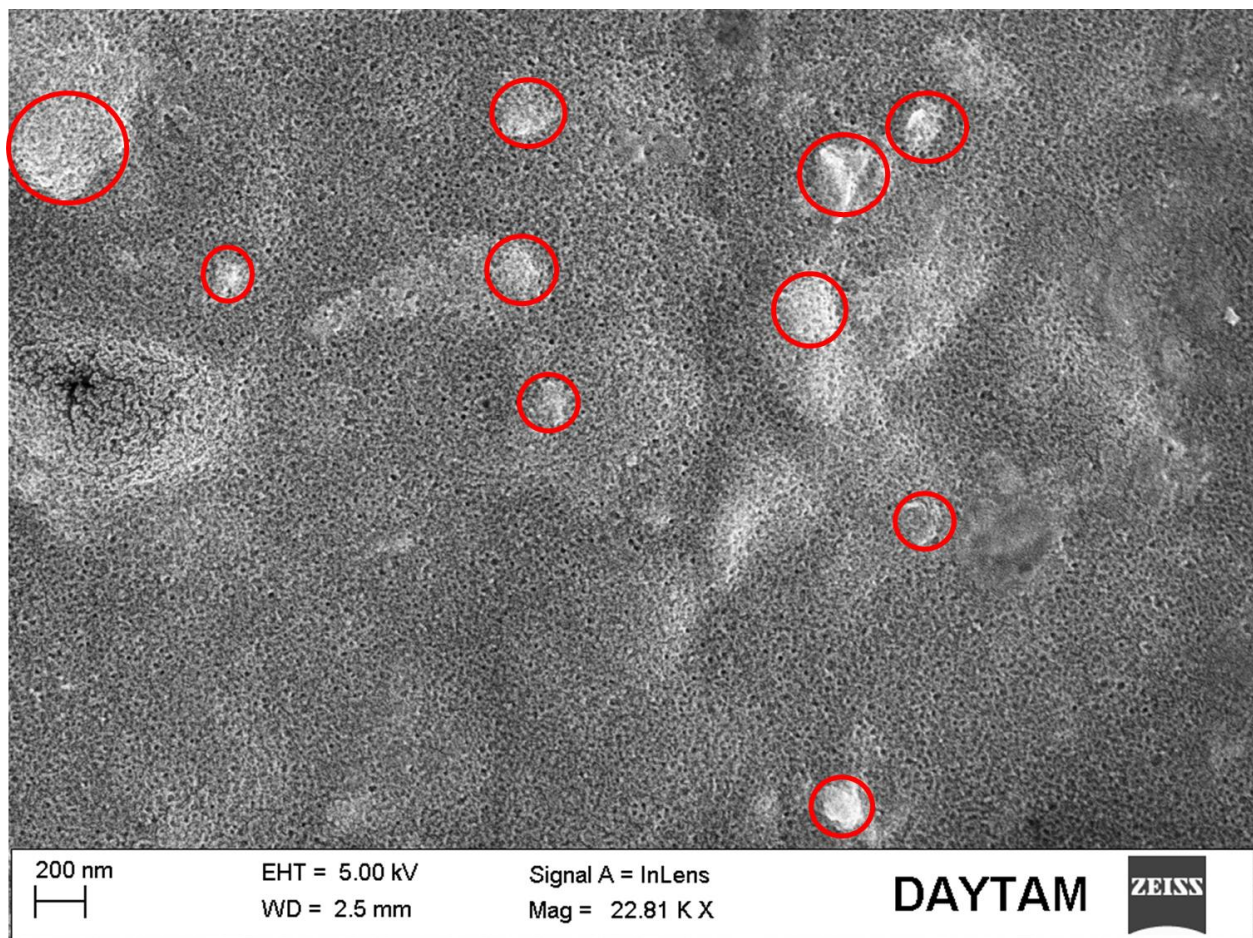
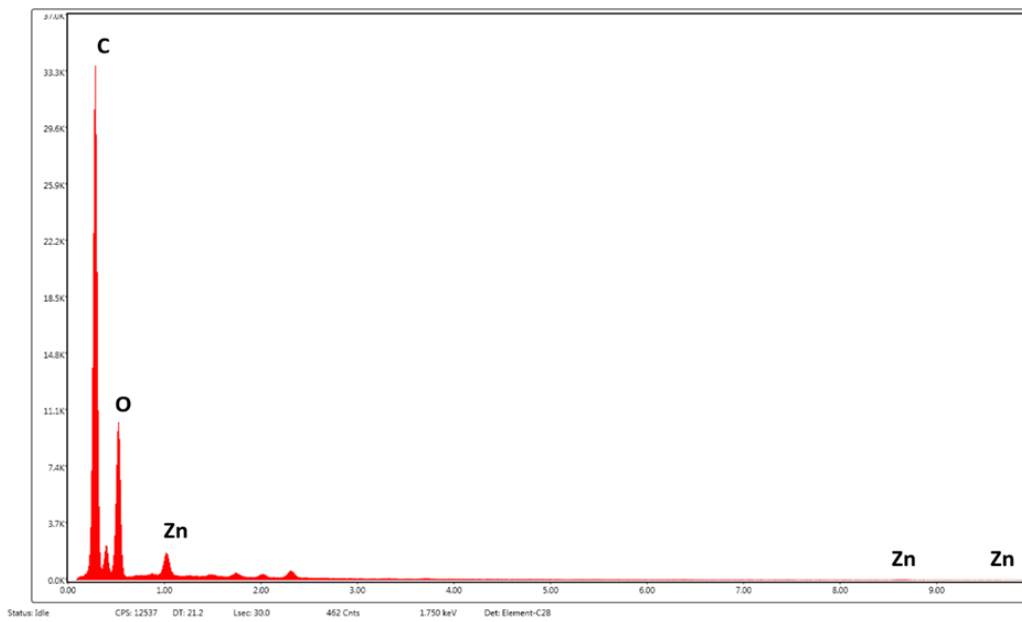


Figure 5. SEM images of selected sample (IS28)



Şekil 6. EDX analysis of ZnO nanoparticles

3.3. Antimicrobial activity of ZnO nanoparticles

It has been reported that extracts of red cabbage prepared by various methods show activity against both gram-negative and gram-positive bacteria (Abdel-Shafi et al., 2019). Similarly, ZnO nanoparticles at the size range of 5-140 nm obtained by biological methods have also been reported to have antibacterial activity (Bhuyan et al., 2015; Singh et al., 2018). Although the metal oxide nanoparticles smaller than 10 nm has been conveyed to have antimicrobial activities, there are also ZnO particles with size up to 2 microns reported to have bactericidal or bacteriostatic activities (Padmavathy and Vijayaraghavan, 2008). In this study, it was observed that none of the nanoparticle samples show activity against both groups of bacteria (Figure 7). The possible explanation for not observing any bioactivity in this study could be that the sample amounts prepared are low and the concentration is not sufficient for the activity. Bioactivity studies at different concentrations could not be carried out due to the low amount of samples obtained in microsystems.

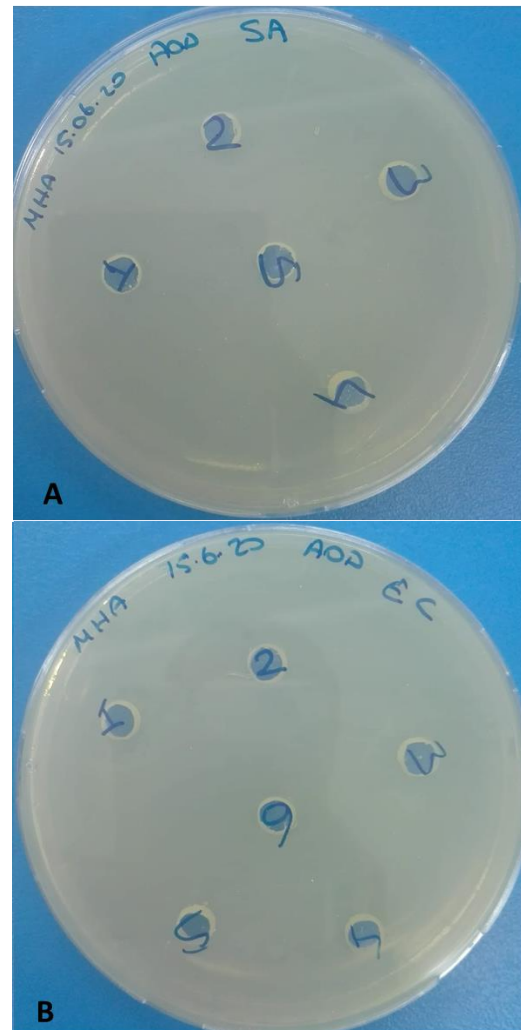


Figure 7. Antimicrobial activity against; A: *S. aureus*, B: *E.coli*. 1; IS1, 2; IS28, 3; IS1 supernatant, 4; IS28 supernatant, 5; Zinc nitrate (5mM), 6; Red cabbage raw extracts

4. Conclusion

In the present study, it was aimed to synthesis and characterization of the ZnO nanoparticles by green synthesis methods using aqueous extracts of red cabbage. In addition, due to the advantages of high heat and mass transfer provided by microsystems, the synthesis of nanoparticles was performed in flow-focusing based microsystems and the conditions have been optimized. From this aspect, in the present study, it was attempted to develop an alternative and eco-friendly method for the synthesis of ZnO nanoparticles by combining green synthesis and microfluidics. Because of achieved results, it can be concluded that reducing organic compounds in herbal extracts can be used to reduce metal ions and provide a green synthesis of nanoparticles. Thus, the method applied in the present work promise significant advantages for future studies.

References

- Abdel-Shafi, S., Al-Mohammadi, A.-R., Sitohy, M., Mosa, B., Ismaiel, A., Enan, G., and Osman, A. (2019). Antimicrobial activity and chemical constitution of the crude, phenolic-rich extracts of hibiscus sabdariffa, brassica oleracea and *Beta vulgaris*. *Molecules*, 24(23), 4280. <https://doi.org/10.3390/molecules24234280>
- Akay, S., Heils, R., Trieu, H. K., Smirnova, I., and Yesil-Celiktas, O. (2017). An injectable alginate-based hydrogel for microfluidic applications. *Carbohydrate Polymers*, 161, 228–234. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.004>
- Anbuvaran, M., Ramesh, M., Viruthagiri, G., Shanmugam, N., and Kannadasan, N. (2015). Synthesis, characterization and photocatalytic activity of ZnO nanoparticles prepared by biological method. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 143, 304–308. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2015.01.124>
- Aslani, A. (2012). Organic materials in nanochemistry, In Dogan, F. (Ed), *Polypropylene*, IntechOpen, 219-260p <https://doi.org/10.5772/34192>
- Bhuyan, T., Mishra, K., Khanuja, M., Prasad, R., and Varma, A. (2015). Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles from *Azadirachta indica* for antibacterial and photocatalytic applications. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 32, 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2014.12.053>
- Charron, C. S., Clevidence, B. A., Britz, S. J., and Novotny, J. A. (2007). Effect of dose size on bioavailability of acylated and nonacylated anthocyanins from red cabbage (*Brassica oleracea* L. Var. *capitata*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(13), 5354–5362. <https://doi.org/10.1021/jf0710736>
- Chintamani, R. B., Salunkhe, K. S., and Chavan, M. J. (2018). Emerging use of green synthesis silver nanoparticle: an updated review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 9(10), 4029–4055. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.9\(10\).4029-55](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.9(10).4029-55)
- Çöteli, E., and Karataş, F. (2016). Kırmızı ve koyu kırmızı bazı meyvelerdeki a, e vitamini, beta karoten ve likopen miktarlarının araştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 61. (in Turkish). <https://doi.org/10.17714/gufbed.2016.06.007>
- Demirbas, A., Welt, B. A., and Ocsoy, I. (2016). Biosynthesis of red cabbage extract directed Ag NPs and their effect on the loss of antioxidant activity. *Materials Letters*, 179, 20–23. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.05.056>
- Deng, Z., Chen, M., Gu, A., and Wu, L. (2008). A facile method to fabricate ZnO hollow spheres and their photocatalytic property. *Journal of Physical Chemistry B*, 112(1), 16–22. <https://doi.org/10.1021/jp077662w>
- Dyrby, M., Westergaard, N., and Stapelfeldt, H. (2001). Light and heat sensitivity of red cabbage extract in soft drink model systems. *Food Chemistry*, 72(4), 431–437. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00251-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00251-X)
- Garibo, D., Borbón-Núñez, H. A., de León, J. N. D., García Mendoza, E., Estrada, I., Toledano-Magaña, Y., Tiznado, H., Ovalle-Marroquin, M., Soto-Ramos, A. G., Blanco, A., Rodríguez, J. A., Romo, O. A., Chávez-Almazán, L. A., and Susarrey-Arce, A. (2020). Green synthesis of silver nanoparticles using *Lysiloma acapulcensis* exhibit high-antimicrobial activity. *Scientific Reports*, 10(1), 12805. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69606-7>
- Güzel, M. ve Akpınar, Ö. (2019). Meyve ve sebze kabuklarının fitokimyasal ve antioksidan özelliklerinin incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(4), 768–780. (in Turkish). <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.542458>
- Igwe, O. U., and Ejiako, C. M. (2018). Bioconstruction of copper nanoparticles using stem bark extract of *Picralima nitida* and their antibacterial potency. *Research Journal of Chemical Sciences*, 8(2), 10-15.
- Jain, S., and Mehata, M. S. (2017). Medicinal plant leaf extract and pure flavonoid mediated green

- synthesis of silver nanoparticles and their enhanced antibacterial property. *Scientific Reports*, 7(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15724-8>
- Ji, X. H., Cheng, W., Guo, F., Liu, W., Guo, S. S., He, Z. K., and Zhao, X. Z. (2011). On-demand preparation of quantum dot-encoded microparticles using a droplet microfluidic system. *Lab on a Chip*, 11(15), 2561–2568. <https://doi.org/10.1039/c1lc20150f>
- Katmis, A., Fide, S., Karaismailoglu, S., and Derman, S. (2018). Synthesis and characterization methods of polymeric nanoparticles. *Characterization and Application of Nanomaterials*, 1(4). <https://doi.org/10.24294/can.v1i4.791>
- Luan, W., Yang, H., Fan, N., and Tu, S. T. (2008). Synthesis of efficiently green luminescent CdSe/ZnS nanocrystals via microfluidic reaction. *Nanoscale Research Letters*, 3(4), 134–139. <https://doi.org/10.1007/s11671-008-9125-5>
- Makarov, V. V., Love, A. J., Sinitsyna, O. V., Makarova, S. S., Yaminsky, I. V., Taliansky, M. E., and Kalinina, N. O. (2014). “Green” nanotechnologies: synthesis of metal nanoparticles using plants. *Acta Naturae*, 6(1), 35–44. <https://doi.org/10.32607/20758251-2014-6-1-35-44>
- Mittal, A. K., Chisti, Y., and Banerjee, U. C. (2013). Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnology Advances*, 31(2), 346–356. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.01.003>
- Naseer, M., Aslam, U., Khalid, B., and Chen, B. (2020). Green route to synthesize Zinc Oxide Nanoparticles using leaf extracts of Cassia fistula and Melia azadarach and their antibacterial potential. *Scientific Reports*, 10(1), 9055. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65949-3>
- Ocsoy, I., Demirbas, A., McLamore, E. S., Altinsoy, B., Ildiz, N., and Baldemir, A. (2017). Green synthesis with incorporated hydrothermal approaches for silver nanoparticles formation and enhanced antimicrobial activity against bacterial and fungal pathogens. *Journal of Molecular Liquids*, 238, 263–269. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.05.012>
- Padmavathy, N., and Vijayaraghavan, R. (2008). Enhanced bioactivity of ZnO nanoparticles—an antimicrobial study. *Science and Technology of Advanced Materials*, 9(3), 035004. <https://doi.org/10.1088/1468-6996/9/3/035004>
- Pessoa, A. C. S. N., Sipoli, C. C., and de la Torre, L. G. (2017). Effects of diffusion and mixing pattern on microfluidic-assisted synthesis of chitosan/ATP nanoparticles. *Lab on a Chip*, 17(13), 2281–2293. <https://doi.org/10.1039/C7LC00291B>
- Sefaoğlu, M., (2020). *Yeşil sentez yöntemiyle çinko nanopartiküllerin mikrosistemlerde üretimi ve karakterizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Gümüşhane.
- Shivaji, K., Mani, S., Ponmurugan, P., De Castro, C. S., Lloyd Davies, M., Balasubramanian, M. G., and Pitchaimuthu, S. (2018). Green-synthesis-derived cds quantum dots using tea leaf extract: antimicrobial, bioimaging, and therapeutic applications in lung cancer cells. *ACS Applied Nano Materials*, 1(4), 1683–1693. <https://doi.org/10.1021/acsnm.8b00147>
- Singh, A. K., Pal, P., Gupta, V., Yadav, T. P., Gupta, V., and Singh, S. P. (2018). Green synthesis, characterization and antimicrobial activity of zinc oxide quantum dots using *Eclipta alba*. *Materials Chemistry and Physics*, 203, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2017.09.049>
- Unal, I. S., Demirbas, A., Onal, I., Ildiz, N., and Ocsoy, I. (2020). One step preparation of stable gold nanoparticle using red cabbage extracts under UV light and its catalytic activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 204, 111800. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111800>
- Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E., and Prior, R. L. (2006). Concentrations of anthocyanins in common foods in the united states and estimation of normal consumption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(11), 4069–4075. <https://doi.org/10.1021/jf0603001>
- Xu, Z. P., Zeng, Q. H., Lu, G. Q., and Yu, A. B. (2006). Inorganic nanoparticles as carriers for efficient cellular delivery. *Chemical Engineering Science*, 61(3), 1027–1040. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2005.06.019>

Kitosan-şeker pancarı posası biyokompozit sorban sisteminin anyonik boyarmadde biyosorpsiyon potansiyeli

Anionic dye biosorption of potential of chitosan-sugar beet pulp biocomposite sorbent system

Sema ÇELİK *^{1,a}

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 26040, Eskişehir, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 05.05.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 18.01.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 25.01.2021

Öz

Bu çalışmada endüstriyel bir atık olan şeker pancarı posası kitosan ile immobilize edilmiş ve elde edilen biyokompozit materyal sulu çözeltilerden Asit Kırmızısı 1 ve Reaktif Kırmızısı 2 boyarmaddelerinin giderimi için kullanılmıştır. Biyokompozit sorbanın renk giderim performansı, başlangıç çözelti pH'sı, sorban miktarı, başlangıç boyarmadde derişimi, denge süresi ve iyonik şiddetin bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Optimum biyosorpsiyon koşullarında (pH: 3.0, biyokompozit sorban miktarı: 0.01 g, denge süresi:10 dk) biyokompozitin boyarmadde giderim verimleri AK1 için %81.23, RK2 için ise %86.79 olarak kaydedilmiştir. Biyokompozit sistemin renk giderim dinamikleri kinetik ve izoterm modellemeleriyle incelenmiştir. Biyosorpsiyon prosesi en iyi yalancı birinci derece kinetik modeli ve Langmuir izoterm modeli ile tanımlanmıştır. Biyokompozitin maksimum tek tabakalı biyosorpsiyon kapasitesi Asit Kırmızısı 1 için 358.027 mg g⁻¹, Reaktif Kırmızısı 2 için ise 379.228 mg g⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Boyarmadde-biyokompozit sorban olası etkileşimleri zeta potansiyeli, IR ve SEM analizleriyle karakterize edilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen biyokompozit sorbanın oldukça yüksek renk giderim kapasitesi ile sulu ortamdan anyonik boyarmadde uzaklaştırılması için etkili bir alternatif olabileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Biyosorpsiyon, Boyarmadde arıtımı, İmmobilizasyon, Kitosan, Şeker pancarı

Abstract

In this study, sugar beet pulp industrial waste was immobilized with chitosan and the obtained biocomposite material was used to remove Acid Red 1 and Reactive Red 2 dyes from aqueous solutions. Decolorization potential of biocomposite sorbent was examined as a function of initial solution pH, sorbent amount, initial dye concentration, time, and ionic strength. The dye removal efficiency of biocomposite at optimum biosorption conditions (pH: 3.0, biocomposite amount: 0.01 g, time:10 min) was recorded as 81.23% for Acid Red 1 and 86.79% for Reactive Red 2. Decolorization dynamics of biocomposite system were investigated isotherm and kinetic modeling. The biosorption process is well described by the pseudo-first-order kinetic model and the Langmuir isotherm model. The maximum biosorption capacity of biocomposite was calculated as 358.027 mg g⁻¹ for Acid Red 1 and 379.228 mg g⁻¹ for Reactive Red 2. Possible dye-biocomposite interactions were characterized by zeta potential, IR, and SEM analysis. The results showed that the suggested biocomposite sorbent can be an effective alternative biomaterial for the removal of anionic dye from aqueous media with a high color removal capacity.

Keywords: Biosorption, Dye treatment, Immobilization, Chitosan, Sugar pulp

*^a Sema ÇELİK; secelik@ogu.edu.tr, Tel: (0222)239 37 50, orcid.org/0000-0003-4284-823X

1. Giriş

Endüstriyel uygulamalar ve ekonominin gelişmesiyle birlikte, doğal kaynakların kullanımı hızla artmış, beraberinde su kirliliği önemli problemlerden biri haline gelmiştir. Özellikle tekstil endüstrisi gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılan sentetik boyarmaddeleri içeren atık suların kontrolsüz şekilde sucul ortamlara salınması ve bu organik kirleticilerin su kaynakları üzerinde neden olduğu kirlilik küresel anlamda bir çevre sorunu teşkil etmektedir (An vd., 2008; Zhou vd., 2019). Boyarmaddeler gibi organik kirleticilerle kontamine olmuş endüstriyel atık suların temizlenmesinde çeşitli biyolojik, kimyasal ve fiziksel yöntemler tek başlarına ya da birlikte geleneksel olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemler yüksek maliyetleri, atık çamur üretmeleri ve tek başlarına boyarmaddelerin giderilmesinde yetersiz kalabilmeleri gibi dezavantajlara da sahiptir.

Geleneksel yöntemlere alternatif olarak öne çıkmaya başlayan biyosorpsiyon yöntemi ise uygulama pratikliği, ekonomikliği ve yüksek verim sağlayabilmesi gibi önemli özelliklerinden dolayı son yıllarda ilgi odağı haline gelmiştir (Barka vd., 2011; Bouras vd., 2017). Endüstriyel kökenli atıklar, aktif çamur, mikrobiyal biyokütleler gibi çeşitli biyolojik materyaller zengin fonksiyonel grup içerikleriyle bu alanda yaygın olarak kullanılan ekonomik biyosorbanlardır (Wase vd., 1997; Safa ve Bhatti, 2011; Rangabhashiyam vd., 2013; Nawaz vd., 2014; Khan vd., 2019).

Biyosorpsiyon uygulamalarında biyosorbanlar serbest ya da immobilize formda kullanılmaktadır. Immobilize biyokütle sistemleri, bir desteğe veya taşıyıcıya bağlanmış, hareket kabiliyetleri kısıtlanmış olan ve toksik kirleticilerin arıtımında etkili olduğu bilinen sorbanları ifade etmektedir. Çalışmaların çoğu biyokütlelerin sentetik ve doğal polimer türevleri gibi taşıyıcı yüzeylere tutturulması üzerine odaklanmıştır. Taşıyıcı olarak akrilamid, poliüretan, polivinil, reçineler, aljinat, agar, agaroz ve kitin türevi kitosan gibi yapılar kullanılmaktadır (de-Bashan ve Bashan, 2010; Girijan ve Kumar, 2019). Immobilize formdaki biyosorbanlar, mekanik kararlılıkları, çözeltiden daha kolay ayrılabilmeleri ve tekrar kullanılabilmeleri gibi özellikleriyle son yıllarda yaygın olarak çalışılmaktadır (ud Din vd., 2016). Immobilizasyon destek malzemeleri arasında yer alan amino ve hidroksil fonksiyonel gruplarını içeren kitosan, boyarmaddelerin sorpsiyonunda önemli rol oynamaktadır. Boyarmadde içerikli atık suların arıtımında kitosan destekli sorbanların

kullanılması, son yıllarda ilgi odağı haline gelmiştir (Crini ve Badot, 2008; Vakili vd., 2014; Subramani ve Thinakaran, 2017; Şenol vd., 2020).

Şeker üretim prosesi atığı olan şeker pancarı posasından yeni bir immobilize biyosorban materyal geliştirilmesi ve büyük ölçüde hayvan yemi olarak kullanılmakta olan bu düşük maliyetli endüstriyel atığın alternatif bir kullanım alanında değerlendirilmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Literatürde bu atık biyokütlenin arıtım amacına yönelik kullanımlarıyla ilgili bazı çalışmalarda daha çok doğal (Dronnet vd., 1997; Özer vd., 1998; Aksu ve İsoğlu, 2005; Pehlivan vd., 2006; Vučurović vd., 2012) ya da aktif karbona dönüştürülmüş formları (Demiral ve Gündüzoğlu, 2010; Castro vd., 2017) ya da kimyasal muamelesine dayalı yüzey modifikasyonu ile hazırlanmış formları (Altundogan vd., 2007; Tunali Akar vd., 2013; Arslanoğlu ve Tümen, 2015) önerilmektedir. Bu materyalin kitosan ile immobilizasyonu sonucu hazırlanan biyokompozitin anyonik boyarmadde biyosorpsiyon karakteristikleri ile ilgili bir çalışmaya ise rastlanmamıştır.

Bu çalışmada aktif immobilizasyon yöntemiyle geliştirilen şeker pancarı posası-kitosan biyokompozit sorban materyali ile sulu ortamdan endüstriyel boyarmaddelerden Asit Kırmızısı 1 (AK1) ve Reaktif Kırmızısı 2 (RK2)'nin giderim karakteristikleri araştırılmıştır. Biyokompozit miktarı, çözeltinin başlangıç pH'sı, başlangıç boyarmadde derişimi, denge süresi ve iyonik şiddet gibi biyosorpsiyonu etkileyen parametreler incelenmiş ve biyosorpsiyon dinamikleri kinetik ve izoterm eşitlikleri ile değerlendirilmiştir. Olası biyomaterial-boyarmadde etkileşimleri SEM, IR analizleri, Boehm titrasyonu ve zeta potansiyeli ölçümü yöntemleri ile incelenmiştir.

2. Materyal ve metot

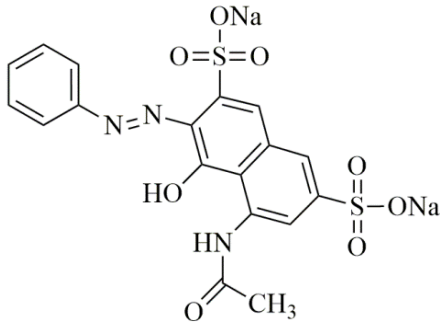
2.1. Biyokompozit sorbanın hazırlanması

İmmobilize edilecek şeker üretim prosesi atığı olan şeker pancarı posası saf su ile yıkandıktan sonra 70°C'de etüvde kurutulup, öğütülmüş ve 212 µm tanecik boyutlu elekten geçirilerek immobilizasyona hazır hale getirilmiştir. Immobilizasyon işleminde 1.5 g kitosan 60 mL %5'lik CH₃COOH çözeltisinde çözölmüş ve bu çözeltiye 1.5 g toz şeker pancarı biyokütlesi ilave edilip homojen bir süspansiyon hazırlanmıştır. Bu süspansiyon 500 mL 0.5 M NaOH çözeltisi içerisine damlatılarak boncuklar oluşturulmuştur (Nghah vd., 2005). Böylece oluşturulan

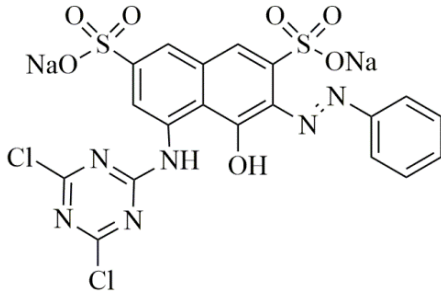
biyokompozit birkaç defa yıkanmış ve 70°C'de etüvde kurutulduktan sonra öğütülerek biyosorpsiyon çalışmalarında kullanılmıştır.

2.2. Reaktif ve çözeltiler

Hedef kirleticiler olarak seçilen AK1 (Kimyasal formül: C₁₈H₁₃N₃Na₂O₈S₂, molekül ağırlığı: 509,42 g mol⁻¹) ve RK2 (Kimyasal formül: C₁₉H₁₀Cl₂N₆Na₂O₇S₂, molekül ağırlığı: 615,33 g mol⁻¹) boyarmaddeleri Sigma-Aldrich ticari ürünleridir. Her iki boyarmadde sodyum tuzu formunda olup, suda çözüldüklerinde anyonik yapıya dönüşmektedir. AK1 ve RK2 boyarmaddelerinin molekül yapıları Şekil 1'de verilmiştir.



AK1



RK2

Şekil 1. AK1 ve RK2 boyarmaddelerinin molekül yapıları

Boyarmaddelerden gerekli miktarlar tartılarak 1000 mg L⁻¹ derişiminde stok çözeltiler hazırlanmıştır. Çalışmalar için kullanılan diğer derişimlerdeki boyarmadde çözeltileri bu stok çözeltilerin seyreltilmesiyle hazırlanmıştır. Çözeltilerin pH değerlerinin ayarlanmasında ise 1 M HCl ve/veya 1 M NaOH çözeltileri kullanılmıştır.

2.3. Biyosorpsiyon çalışmaları

Hazırlanan doğal ve biyokompozit sorbanlar ile AK1 ve RK2 boyarmaddelerinin biyosorpsiyon ön denemeleri sonunda biyokompozit sorban ile çalışmalara devam edilmiştir. Kesikli sistem biyosorpsiyon deneyleri 100 mL'lik beherler içerisinde 25 mL 100 mg L⁻¹ AK1 ve RK2 çözeltileri ile 300 devir dk⁻¹ karıştırma hızındaki çoklu manyetik karıştırıcılar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Boyarmaddelerin biyosorpsiyon ön denemeleri pH 3.0 ve 0.025 g biyosorban miktarıyla yapılmıştır. Çözeltilerin başlangıç pH değerlerinin AK1 ve RK2 biyosorpsiyon verimleri üzerine etkisini belirlemek için 3.0–10.0 aralığında değişen pH değerlerinde çalışılmıştır. Renk giderimine kompozit miktarının etkisi ise en uygun başlangıç pH değerinde 0.001–0.025 g aralığında değişen biyosorban miktarları ile incelenmiştir. Biyosorpsiyon denge süresi 5–60 dk aralığında, biyosorpsiyona başlangıç boyarmadde derişimi etkisi ise her iki boyarmaddenin derişimi 25–400 mg L⁻¹ aralığında değiştirilerek incelenmiştir. Renk giderimine biyosorpsiyon ortamındaki iyonik şiddetin etkisi, en uygun biyosorpsiyon koşullarında 0.02–0.2 mol L⁻¹ derişim aralığında KNO₃ içeren AK1 ve RK2 çözeltileri ile çalışılmıştır. Biyosorpsiyon süreci sonunda biyokompozit sorban, çözeltiden santrifüjleme (5000 devir dk⁻¹) ile ayrılmış, çözeltide kalan boyarmadde derişimleri, UV spektrofotometresi (Shimadzu UV–2550) ile AK1 ve RK2 için sırasıyla 404 nm ve 468 nm maksimum dalga boylarında tayin edilmiştir.

Deneysel çalışmalar üç kez tekrarlanmış olup ve deney verileri aritmetik ortalamalar alınarak istatistiksel olarak %95 güven aralığında değerlendirilmiştir. Sonuçlar biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) ve biyosorpsiyon verimi (%) cinsinden aşağıda verilen eşitlikler (Eşitlik 1 ve Eşitlik 2) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$q_d = \frac{C_o - C_d}{m} \times V \quad (1)$$

$$\% \text{Biyosorpsiyon} = \frac{C_o - C_d}{C_o} \times 100 \quad (2)$$

Burada;

q_d : Biyosorpsiyon kapasitesi (mg g⁻¹),

C_o : Çözelti ortamındaki başlangıç boyarmadde derişimi (mg L⁻¹)

C_d : Biyosorpsiyon sonrası çözelti ortamındaki boyarmadde derişimi (mg L⁻¹)

m : Biyokompozit sorban miktarı (g),

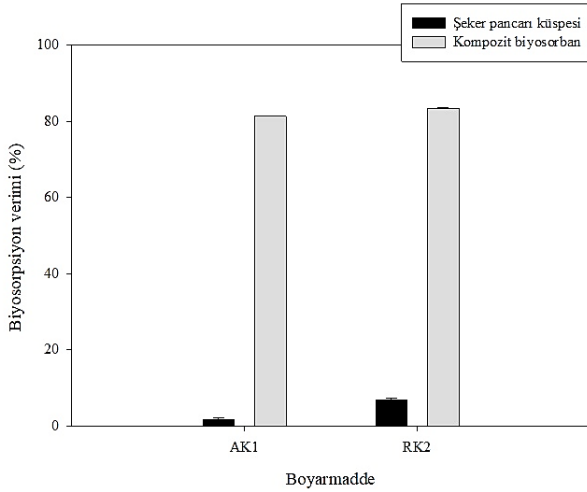
V: AK1 ve RK2 boyarmadde çözeltilerinin hacmidir (L).

2.4. Biyokompozit sorbanın karakterizasyonu

Biyokompozit sorban zeta potansiyeli (Malvern Zetasizer), FTIR (Bruker TENSOR 27), SEM (JEOL 560 LV SEM) analizleri ile incelenmiş olup, biyosorbanın yüzey asidik ve bazik grupları Boehm titrasyonu ile belirlenmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

Öncelikle şeker pancarı posasından hazırlanan doğal ve kitosan ile immobilize edilen biyokompozit sorbanın AK1 ve RK2 için biyosorpsiyon verimleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 2’de sunulmuştur.



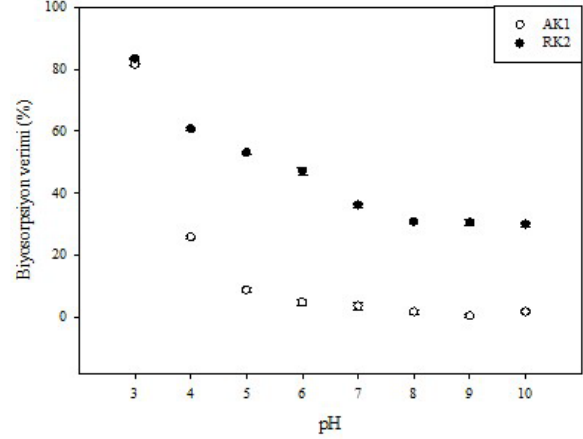
Şekil 2. Doğal ve biyokompozit sorbanın AK1 ve RK2 boyarmaddeleri için biyosorpsiyon performansları.

Şekil 2’de görüldüğü üzere doğal ve biyokompozit sorbanların biyosorpsiyon verimleri kıyaslandığında AK1 ve RK2 boyarmaddeleri için doğal biyosorbanın biyosorpsiyon verimlerinin sırasıyla %1.70 ve %6.85, biyokompozit sorbanın biyosorpsiyon verimlerinin ise sırasıyla %81.37 ve %83.34 olduğu görülmektedir. Kitosan ile immobilizasyon işlemi sonunda doğal biyokütlenin biyosorpsiyon veriminin AK1 için yaklaşık 47 kat RK2 için ise yaklaşık 12 kat arttığı belirlenmiş ($p < 0.05$) ve çalışmalara biyokompozit sorban ile devam edilmiştir.

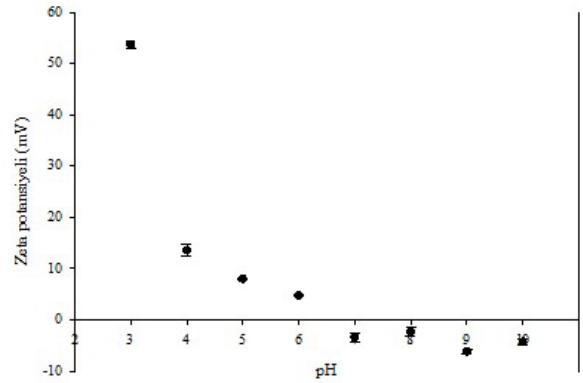
3.1. Başlangıç çözelti pH’sının AK1 ve RK2 giderimine etkisi

Biyokompozit sorban ile AK1 ve RK2 boyarmaddelerinin giderimine başlangıç pH’sı

etkisinin incelenmesinde, farklı başlangıç pH değerlerinde çözeltiler kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 3a’da verilmiştir. Yine çalışılan bu pH değerlerinde biyokompozit sorbanın zeta potansiyeli ölçümleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Şekil 3b’de sunulmuştur.



(a)



(b)

Şekil 3. Değişen pH’larda biyokompozit sorbanın AK1 ve RK2 boyarmaddeleri için biyosorpsiyon verimleri (a) ve zeta potansiyel değerleri (b).

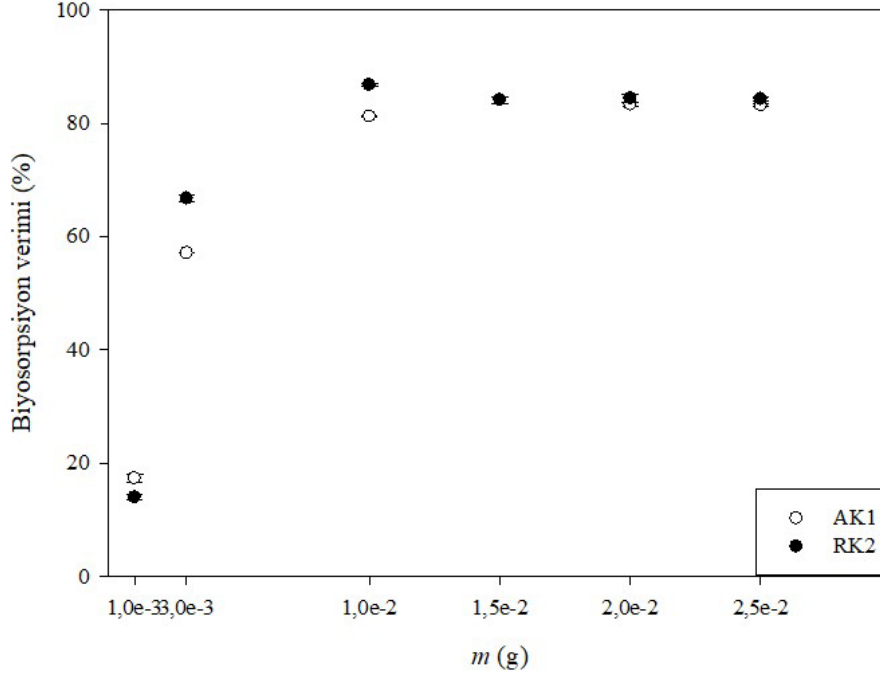
Şekil 3a’daki sonuçlara göre biyokompozit sorbanın her iki boyarmadde için en yüksek biyosorpsiyon verimine pH 3.0’te ulaştığı görülmektedir. Ortam pH’sının 3.0’dan 4.0’a artmasıyla biyosorpsiyon veriminde düşüş gözlenmeye başlanmış ve bu eğilim pH artışıyla birlikte devam etmiştir ($p < 0.05$). Biyokompozit sorbanın asidik pH değerlerinde yüksek biyosorpsiyon performansı, düşük pH değerlerinde protonlanmış biyokompozit sorban fonksiyonel grupları ile anyonik karakterli boyarmadde molekülleri arasındaki elektrostatik çekim kuvvetleri ile açıklanabilir. Biyosorpsiyon ortamının pH’sı arttıkça, biyokompozit sorbanın yüzeyindeki negatif yük yoğunluğu da artmakta, bu kez biyokompozit sorban ile anyonik boyarmadde

molekülleri arasındaki itme kuvvetleri biyosorpsiyon verimini azaltmaktadır. Bu bulgular biyokompozit sorbanın zeta potansiyeli ölçümü çalışmaları ile de desteklenmektedir. Şekil 3b incelendiğinde biyokompozit sorbanın en yüksek pozitif yüzey yüküne biyosorpsiyon için en uygun pH olarak belirlenen pH 3.0'da sahip olduğu görülmektedir. Yine her iki boyarmadde için de pH 7.0-10.0 aralığında gözlenen düşük biyosorpsiyon verimleri biyokompozit sorbanın yüzey yükünün negatif olduğu aralıkta gerçekleşmiştir. pH'a bağlı benzer biyosorpsiyon süreci farklı anyonik

boyarmaddeler için de bildirilmiştir (Akkaya ve Özer, 2005; Yang vd., 2011).

3.2. Biyokompozit sorban miktarının AK1 ve RK2 giderimine etkisi

Biyosorpsiyonu etkileyen önemli bir diğer parametre de biyosorpsiyonda kullanılan biyosorban miktarıdır. Şekil 4'te AK1 ve RK2 boyarmaddelerinin giderimine biyokompozit sorban miktarının etkisi verilmiştir.



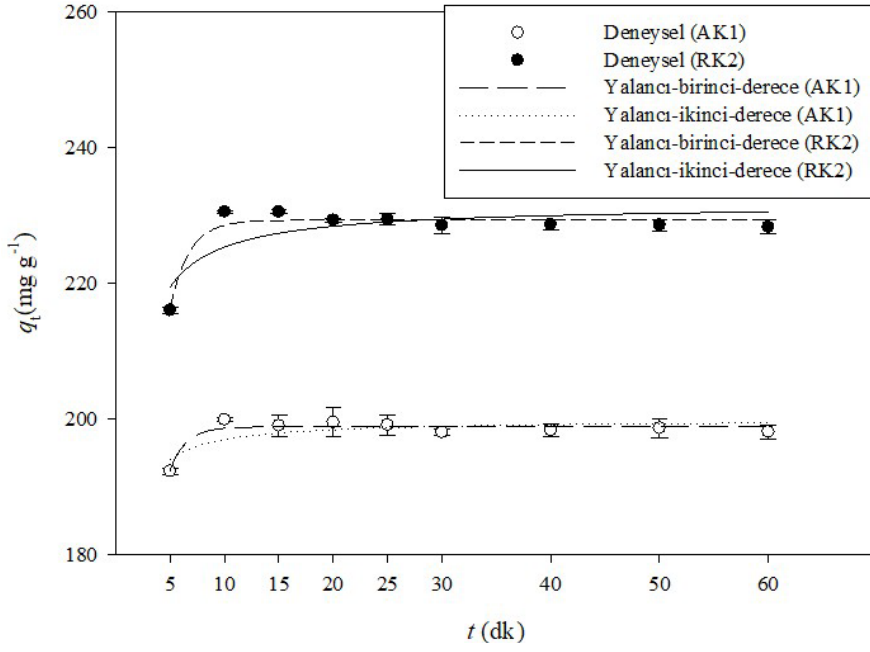
Şekil 4. AK1 ve RK2 boyarmaddelerinin giderimine biyokompozit sorban miktarının etkisi.

Şekil 4 incelendiğinde gibi biyokompozit sorban miktarının 0.001 g' dan 0.01 g'a artmasıyla her iki boyarmadde için de biyosorpsiyon verimlerinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Bu aralıkta AK1 için biyosorpsiyon verimi %17.31'den %81.23'e; RK2 için ise %13.95'ten %86.79'a yükselmiştir ($p < 0.05$). Her iki boyarmadde için biyokompozit sorban miktarının 0.01 g'dan 0.025 g'a çıkarılması durumunda ise biyosorpsiyon verimlerinde değişiklik gözlenmemiştir ($p > 0.05$). Bu durum, biyokompozit sorban miktarının artmasına bağlı olarak AK1 ve RK2 moleküllerinin bağlanabileceği yüzey alanının da artması ve belli bir miktardan sonra da sabit çözelti hacmi ve

derişiminde bulunan boyarmadde molekülleri ile biyosorban yüzeyinin doygunluğa ulaşması ile açıklanabilmektedir. Bu bulgular literatürde farklı boyarmaddelerin biyosorpsiyonu için bildirilmiş olan ilgili sonuçlarla (Kumari vd Abraham, 2007; Akar vd., 2013) uyum içerisinde.

3.3. Kinetik çalışmaları

AK1 ve RK2 boyarmaddelerinin biyokompozit sorban üzerine biyosorpsiyonunun süreye bağlı değişimi ve doğrusal olmayan regresyon analizleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Biyokompozit sorban ile AK1 ve RK2 biyosorpsiyonunun süreye bağlı değişimi ve doğrusal olmayan regresyon analizleri.

Şekil 5 incelendiğinde biyokompozit sorbanın biyosorpsiyon kapasitesi her iki boyarmadde için de ilk 10 dk içinde hızlı bir artış göstermiş ve bu süreden sonra biyosorpsiyon kapasitelerinde bir değişiklik gözlenmemiştir ($p > 0.05$). Biyosorpsiyon dengesinin kurulduğu 10. dk da biyokompozit sorban AK1 için 199.89 mg g^{-1} ; RK2 için ise 230.53 mg g^{-1} kapasite değerlerine ulaşmıştır. Sürecin pratik uygulamaları açısından bu kısa denge süresi önemli bir avantaj olarak değerlendirilebilir. Biyosorpsiyon sürecinin dinamiğini ve kontrol mekanizmasını araştırmak için elde edilen kinetik veriler Lagergren’in yalancı-birinci-derece kinetik modeli (Lagergren, 1898) ve yalancı-ikinci-derece kinetik modelinin doğrusal olmayan eşitlikleri (Ho ve McKay, 1999) ile değerlendirilmiştir. Bu kinetik modellere ait eşitlikler aşağıda verilmiştir:

Lagergren yalancı-birinci-derece kinetik modeli:

$$q_t = q_d(1 - e^{-k_1 t}) \quad (3)$$

Yalancı-ikinci-derece kinetik modeli:

$$q_t = \left(\frac{k_2 q_d^2}{1 + k_2 q_d^2 t} \right) \quad (4)$$

Burada q_t ve q_d biyokompozit sorban materyalin sırasıyla t zamanındaki ve dengedeki biyosorpsiyon kapasitesini (mg g^{-1}), k_1 (dk^{-1}) ve k_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{dk}^{-1}$) yalancı-birinci-dereceden ve yalancı-ikinci-dereceden kinetik modelleri için hız sabitlerini belirtmektedir. Bu kinetik modellerine ait parametreler Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Biyokompozit sorban ile AK1 ve RK2 biyosorpsiyonlarına ait kinetik parametreleri

AK1				RK2			
Parametre	t	p	Parametre	t	p		
Yalancı-birinci-derece							
q_e (mg g^{-1})	198.830	769.064	<0.0001	q_e (mg g^{-1})	229.295	591.233	<0.0001
k_1 (min^{-1})	$6.85 \times 10^{\square}$	28.743	<0,0001	k_1 (min^{-1})	$5.731 \times 10^{\square}$	32.584	<0.0001
r^2 : 0.911; S.E.: 0.725; F : 71.305				r^2 : 0.949; S.E.: 1.080; F : 131.019			
Yalancı-ikinci-derece							
q_e (mg g^{-1})	199.888	2.931	0.022	q_e (mg g^{-1})	231.560	3.307	0.013
k_2	$3.344 \times 10^{\square}$	2.905	0.023	k_2	$1.565 \times 10^{\square}$	3.254	0.014
$(\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1})$				$(\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1})$			
r^2 : 0.561; S.E.: 1.607; F : 8.941				r^2 : 0.626; S.E.: 2.932; F : 11.735			

t ve p : Regresyon katsayılarının anlamlılığına ilişkin istatistikler.

S.E : Standart hata.

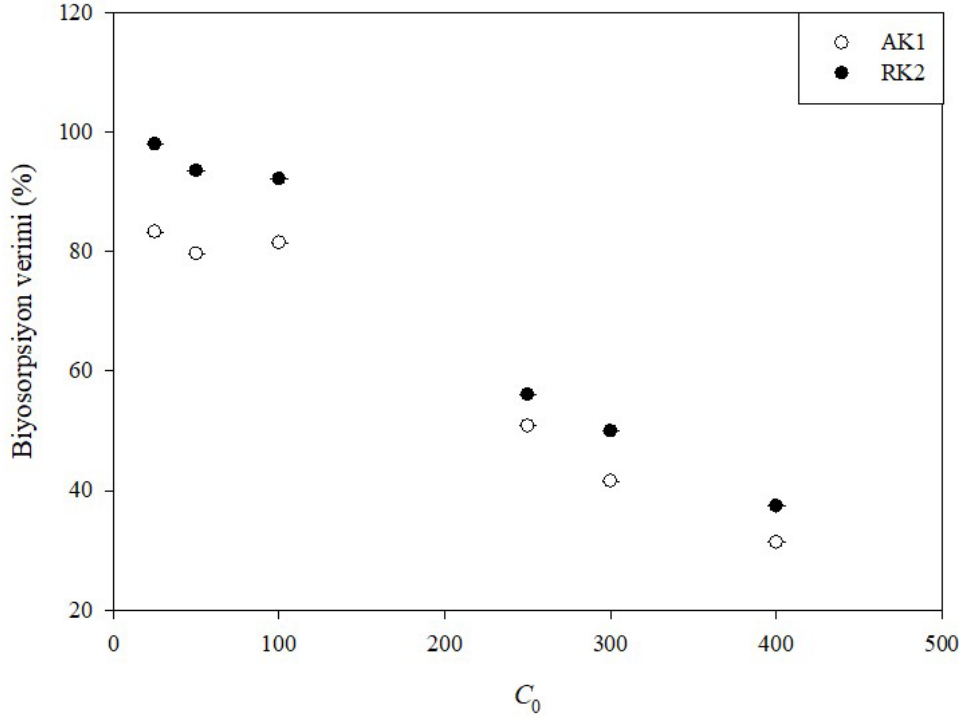
F : Regresyon modelin genel anlamlılığına ait F istatistiği.

Tablo 1’de r^2 ve F değerleri karşılaştırıldığında AK1 ve RK2 biyosorpsiyon süreçlerinin için daha çok yalancı-birinci-derece kinetik modeline uyum sağladığı görülmüştür ($p < 0.05$). Ayrıca S.E ve p değerlerinin de bu modeli doğruladığı söylenebilir. Bu modelden hesaplanan biyosorpsiyon kapasitesi değerleri ile deneysel olarak elde edilen kapasite değerleri uyum içerisindedir ve sonuç, biyosorpsiyon hızının biyosorban yüzeyindeki

boşluklarla doğru orantılı arttığını düşündürmektedir.

3.4. Biyosorpsiyona başlangıç boyarmadde derişimi etkisi ve izoterm çalışmaları

Çalışmada biyokompozit sorban üzerine farklı başlangıç boyarmadde derişimlerinde AK1 ve RK2 biyosorpsiyonu gerçekleştirilmiş, sonuçlar Şekil 6’da verilmiştir.

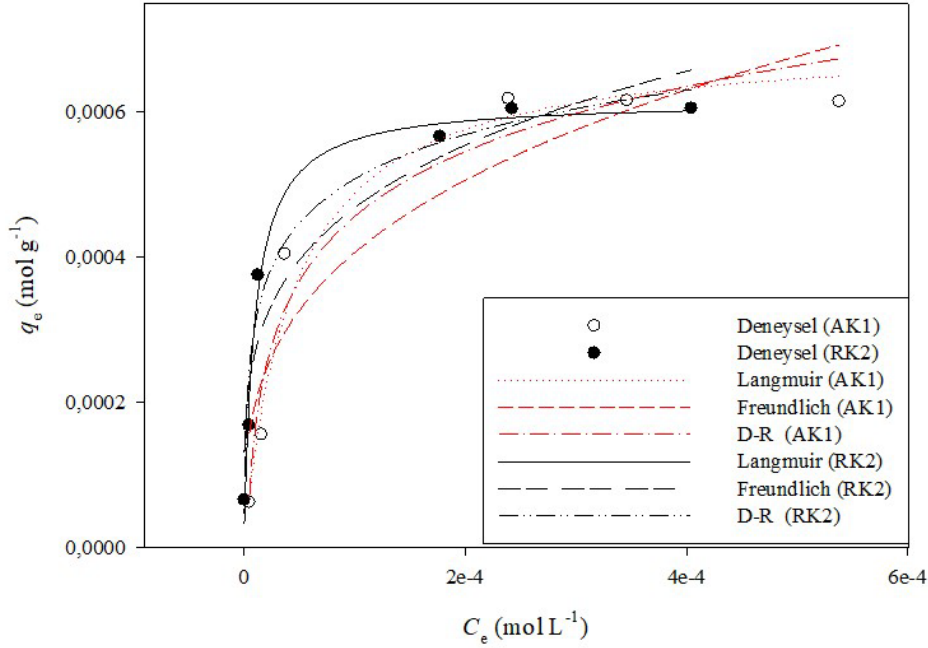


Şekil 6. Biyokompozit sorban ile AK1 ve RK2 biyosorpsiyonuna başlangıç boyarmadde derişiminin etkisi.

Şekil 6’da boyarmadde derişimlerinin 100 mg L⁻¹’den 400 mg L⁻¹’e artmasıyla birlikte biyokompozit sorbanın biyosorpsiyon verimleri AK1 için %83,29’dan %31,39’a; RK2 için ise %97,97’den %37,46’a düşmektedir. Düşük boyarmadde derişimlerinde, biyokompozit sorbanın yüzeyindeki aktif bağlanma bölgelerinin boyarmadde çözeltisindeki toplam iyon derişimine oranı yüksek olduğunda, tüm boyarmadde iyonları

biyosorban ile etkileşim içindedir ve sulu ortamdan yüksek verimle uzaklaştırılabilmektedir (Öztürk vd., 2020).

Elde edilen denge biyosorpsiyon verileri ayrıca genel izoterm grafiği şeklinde de sunulmuş ve doğrusal olmayan regresyon analizlerine dayalı izoterm modellemesi Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Biyokompozit sorban ile AK1 ve RK2 biyosorpsiyonunun genel izoterm grafiği ve doğrusal olmayan regresyon analizleri.

Şekil 7 incelendiğinde denge boyarmadde derişiminin artmasıyla birlikte hem AK1 hem de RK2 için biyosorpsiyon kapasitelerinde artış olmuş, belli bir derişimden sonra da biyokompozit sorban maksimum biyosorpsiyon kapasitesine ulaşmıştır. Bu denge verilerinden yararlanarak AK1 ve RK2 biyosorpsiyon süreci Freundlich (Freundlich, 1906), Langmuir (Langmuir, 1918) ve D-R (Dubinin ve Radushkevich, 1947) izoterm modellerinin doğrusal olmayan eşitlikleri ile değerlendirilmiştir. Bu izoterm modellerine ait eşitlikler aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

Freundlich izoterm modeli:

$$q_d = K_F C_d^{1/n} \quad (5)$$

Langmuir izoterm modeli:

$$q_d = \left(\frac{q_m K_L C_d}{1 + K_L C_d} \right) \quad (6)$$

D-R izoterm modeli:

$$q_d = q_m \cdot \exp(-\beta \epsilon^2) \quad (7)$$

Bu eşitliklerde C_d çözültide kalan boyarmadde derişimi (mol L^{-1}), q_d (mol g^{-1}) biyokompozit sorban üzerine biyosorplanan boyarmadde miktarı, $K_F((\text{mol g}^{-1})(\text{mol L}^{-1}))^{1/n}$ Freundlich izoterm sabiti, $1/n$ heterojenite faktörüdür. q_{mak} maksimum

tek tabakalı biyosorpsiyon kapasitesi, K_L (L mol^{-1}) biyosorpsiyonun serbest enerjisi ile ilgili Langmuir sabitidir. q_m biyosorpsiyon kapasitesi (mol g^{-1}), β biyosorpsiyon serbest enerjisi ile ilgili D-R sabiti ($\text{mol}^2 \text{J}^{-2}$) ve ϵ Polanyi potansiyelidir (kJ mol^{-1}). Bu izoterm eşitliklerinden hesaplanan izoterm parametreleri Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2’de verilen izoterm parametrelerinden r^2 ve F değerleri kıyaslandığında biyokompozit sorban ile gerçekleştirilen biyosorpsiyon prosesinin her iki boyarmadde için daha çok Langmuir izoterm modeline uygun olduğu görülmektedir ($p < 0.05$). Ayrıca S.E ve p değerlerinin de bu modeli doğruladığı söylenebilir. Bu doğrultuda biyokompozit sorban yüzeyinde her iki boyarmadde için tek tabakalı bir tutunmanın sözü konusu olduğu ve biyosorpsiyonun homojen bir yüzeyde gerçekleştiği söylenebilir. Buradan elde edilen teorik maksimum biyosorpsiyon kapasiteleri (AK1 için $358.027 \text{ mg g}^{-1}$; RK2 için $379.228 \text{ mg g}^{-1}$) deneysel olarak elde edilen maksimum biyosorpsiyon kapasiteleri (AK1 için $315.230 \text{ mg g}^{-1}$; RK2 için $372.580 \text{ mg g}^{-1}$) ile uyum içerisindedir. Çalışmada AK1 ve RK2 giderimi için elde edilen maksimum biyosorpsiyon kapasite değerlerinin literatürdeki çeşitli sorbanların bu boyarmaddeler için bildirilen kapasite değerleriyle kıyaslanabilir düzeyde olduğu görülmektedir (Tablo 3). Ayrıca, D-R izoterm modelinden hesaplanan E değerlerine göre, her iki boyarmaddenin biyosorpsiyonunda fiziksel etkileşimin ($E < 16 \text{ kJ mol}^{-1}$) rolünün olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 2. Biyokompozit sorban ile AK1 ve RK2 biyosorpsiyonlarına ait izoterm parametreleri

AK1				RK2			
Parametre		<i>t</i>	<i>p</i>	Parametre		<i>t</i>	<i>p</i>
Langmuir							
q_{mak} (mol g ⁻¹)	7.028×10^{-4}	5.693	0.0047	q_{mak} (mol g ⁻¹)	6.163×10^{-4}	5.149	0.0068
K_L (L mol ⁻¹)	2.271×10^4	4,543	0.0105	K_L (L mol ⁻¹)	10.311×10^4	4.469	0.0111
r^2 : 0.978; S.E.: 0.0027; <i>F</i> : 173.553				r^2 : 0.978; S.E.: 0.0025; <i>F</i> : 179.533			
Freundlich							
<i>n</i>	3.152	3.809	0.0190	<i>n</i>	4.102	5.043	0.0073
K_F ((mol g ⁻¹)(mol L ⁻¹)) ^{-1/n}	7.6×10^{-3}	1.445	0.2220	K_F (L g ⁻¹)	4.4×10^{-3}	2.361	0.0776
r^2 : 0.875; S.E.: 9.881×10^{-5} ; <i>F</i> : 28.111				r^2 : 0.929; S.E.: 7.027×10^{-5} ; <i>F</i> : 52.275			
D-R							
q_{mak} (mol g ⁻¹)	1.16×10^{-3}	11.314	0.0003	q_{mak} (mol g ⁻¹)	1.3×10^{-3}	15.661	<0.0001
β (mol ² kJ ⁻²)	0.01	8.620	0.0010	β (mol ² kJ ⁻²)	9.399×10^{-3}	11.231	0.0004
<i>E</i> (kJ mol ⁻¹)	7.071			<i>E</i> (kJ mol ⁻¹)	7.294		
r^2 : 0.949; S.E.: 6.327×10^{-5} ; <i>F</i> : 74.312				r^2 : 0.969; S.E.: 4.621×10^{-5} ; <i>F</i> : 126.124			

t ve *p* : Regresyon katsayılarının anlamlılığına ilişkin istatistikler.

S.E : Standart hata.

F : Regresyon modelin genel anlamlılığına ait *F* istatistiği.

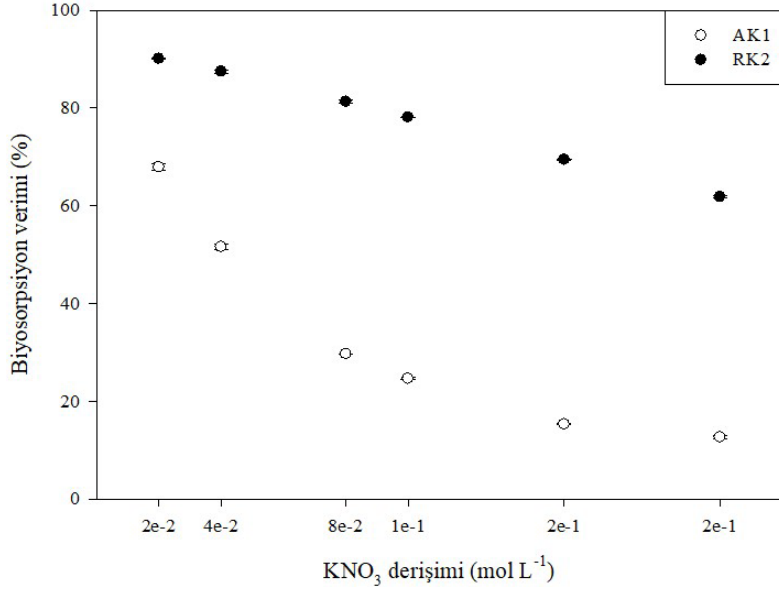
Tablo 3. AK1 ve RK2 için farklı sorbanların sorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması

Sorban materyali	Boyarmadde	Sorpsiyon kapasitesi(mg g ⁻¹)	Kaynak
Karboksimetilselüloz (Manyetik grafen oksit kaplı)	AK1	47.456	Sirajudheen vd., 2020
Şeker pancarı (modifiye edilmiş)	AK1	98.2	Tunali Akar vd., 2015
Alünit-kitosan kompozit	AK1	588.75	Tunali Akar vd., 2016
Bentonit (modifiye edilmiş)	AK1	157.4	Huang vd., 2017
Fe ₃ O ₄ /MIL-101	AK1	142.9	Wang vd., 2016
Biyokompozit sorban	AK1	328.027	Bu çalışma
Karboksimetilselüloz (Manyetik grafen oksit kaplı)	RK2	47.887	Sirajudheen vd., 2020
Şeker pancarı (modifiye edilmiş)	RK2	141.526	Tunali Akar vd., 2013
Alünit-kitosan kompozit	RK2	462.74	Tunali Akar vd., 2016
Karides kabuğu	RK2	166	Thiyagarajan vd., 2017
<i>Agaricus bisporus</i> (modifiye edilmiş)	RK2	141.53	Akar ve Divriklioglu, 2010
Biyokompozit sorban	RK2	379.228	Bu çalışma

3.5. Biyosorpsiyona iyonik şiddet etkisi

Biyokompozit sorbanın üzerine AK1 ve RK2 biyosorpsiyonuna iyonik şiddetin etkisi belirlenen optimum koşullarda araştırılmıştır. Bu amaçla, boyarmadde çözeltilerine çözeltideki son tuz derişimleri 0.02 mol L⁻¹ ile 0.2 mol L⁻¹ arasında

olacak şekilde KNO₃ çözeltileri ilave edilmiş ve bu ortamda gerçekleştirilen biyosorpsiyon çalışmalarına ait sonuçlar Şekil 8’de verilmiştir. Şekil 8’de görüldüğü gibi KNO₃ derişiminin artmasıyla birlikte her iki boyarmaddenin biyosorpsiyon verimi kademeli olarak azalmaktadır.



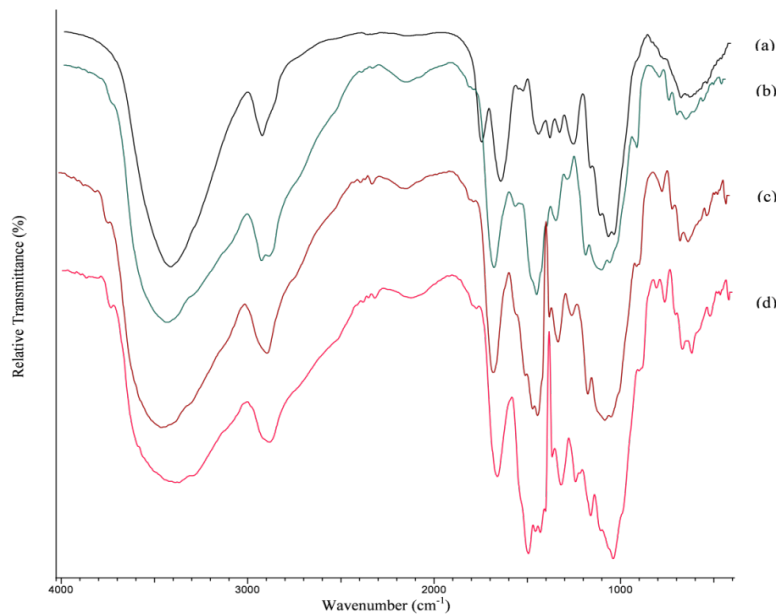
Şekil 8. Biyokompozit sorban ile AK1 ve RK2 biyosorpsiyonlarına iyonik şiddetin etkisi.

Ortamdaki tuz derişiminin 0.2 mol L⁻¹ değerine ulaştığı noktada ise AK1 biyosorpsiyonunda yaklaşık %55; RK2 biyosorpsiyonunda ise yaklaşık %28 azalma olmaktadır. Bu durum NO₃⁻ iyonları ile anyonik karakterli boyarmadde molekülleri arasında biyosorbanın fonksiyonel gruplarına bağlanmak adına gerçekleşen bir yarışma ile açıklanabilmektedir. Dolayısıyla yabancı anyonların ortamdaki varlığı AK1 ve RK2 biyosorpsiyon verimlerinde bir miktar düşüğe neden olmaktadır. Ayrıca bu bulgular biyokompozit sorban yüzeyine AK1 ve RK2 boyarmaddelerin biyosorpsiyonunda daha önce de

açıklanan elektrostatik etkileşimin rolünü de doğrulamaktadır.

3.6. Karakterizasyon

Olası biyokompozit sorban-boyarmadde etkileşimlerinin incelenmesi ve aynı zamanda immobilizasyon işleminin yeni biyosorban materyalde neden olduğu değişiklikleri açıklayabilmek amacıyla IR ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Doğal formdaki biyokütle, biyokompozit sorban ve boyarmaddelerin yüklendiği biyokompozit sorbana ait IR spektrumları Şekil 9’da verilmiştir.

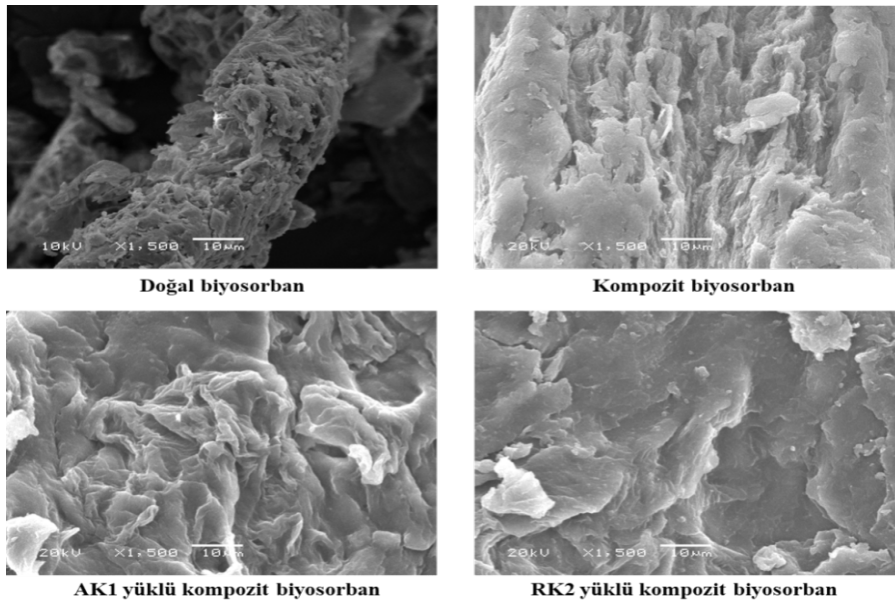


Şekil 9. Doğal biyosorban (a), Biyokompozit sorban (b), AK1 yüklü biyokompozit sorban (c), RK2 yüklü biyokompozit sorban (d) için IR spektrumları.

Şekil 9'da 3420 cm^{-1} civarındaki geniş bantlar $-\text{NH}$ ve $-\text{OH}$ gruplarını göstermektedir. 2928 cm^{-1} deki bant, hidrokarbon zincirlerine ait $\text{C}-\text{H}$ gerilme titreşimleri, 1437 ve 1375 cm^{-1} deki bantlar ise bu gruba ait eğilme titreşimleri olarak değerlendirilebilir. 1744 cm^{-1} civarındaki bantlar karboksilatların karbonil gerilmesine işaret etmektedir. Amid kaynaklı karbonil gerilme titreşimi ve lignin içindeki aromatik $\text{C}-\text{C}$ gerilme titreşimi, sırasıyla 1641 ve 1519 cm^{-1} de gözlenmiştir. 1323 cm^{-1} deki bant sellüloz kaynaklı $\text{C}-\text{H}$ eğilme titreşimi olarak değerlendirilmiştir. 1248 cm^{-1} civarındaki bantın ligninin $\text{C}-\text{O}$ gerilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. 1059 ve 1030 cm^{-1} civarında gözlenen gerilme titreşimleri ise $\text{C}-\text{O}$ grupları olarak yorumlanabilir. 1155 ve 1103 cm^{-1} deki bantlar ise $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ gerilmeleri ile açıklanabilir (Tunali Akar vd., 2013). Kitosan ile immobilizasyondan sonra biyokompozit sorban yapısında 2878 cm^{-1} 'de ortaya çıkan yeni pikin ise $\text{C}-\text{H}$ gruplarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yine immobilizasyon sürecinden sonra 1744 , 1519 cm^{-1} civarındaki bantların kaybolduğu görülmüş, 1437 ve 1375 cm^{-1} civarındaki bantlarda ise kaymalar gözlenmiştir. Ayrıca 1155 cm^{-1} deki pik şiddetinde artış gözlenmiş ve 1026 cm^{-1} 'de yeni bir pik ortaya çıkmıştır. Bu şiddet artışı ve yeni pik kitosanda bulunan β -1,4-glikozidik bağlarından kaynaklanan $\text{C}-\text{O}$ gerilme titreşimleri ile ilişkilendirilebilir (Zeng vd., 2015). Buna ek olarak

910 , 700 , 650 ve 561 cm^{-1} 'de yeni küçük şiddette bantlar ortaya çıkmış olup bunlar da sırasıyla $-\text{OH}$ titreşimleri, düzlem dışı NH titreşimleri, düzlem dışı OH titreşimleri ve $-\text{CH}$ titreşimleri olarak düşünülebilir (Zeng vd., 2015; Eddy vd., 2020). Biyosorpsiyon sürecinden sonra her iki boyarmadde için 2928 cm^{-1} deki bantın kaybolduğu görülmüştür. AK1 biyosorpsiyonundan sonra 1496 cm^{-1} 'de yeni bir bant ortaya çıkmıştır. Bu da boyarmaddenin azo grubu ile ilişkilendirilebilir. 1437 ve 1375 cm^{-1} 'deki bantların AK1 biyosorpsiyonundan sonra 1445 ve 1398 cm^{-1} 'e kaydığı görülmektedir. RK2 biyosorpsiyonundan sonra ise, 1500 cm^{-1} 'de yeni bir bant ortaya çıkmış, bu bant da benzer şekilde boyarmadde yapısındaki $-\text{N}=\text{N}$ gerilme titreşimleri ile açıklanabilir.

Ayrıca biyokompozit sorbanın yüzeyindeki asidik ve bazik grupları belirlemek amacıyla Boehm titrasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu metoda göre, NaOH tüm asidik grupları (fenol, laktonik grup ve karboksilik asit), Na_2CO_3 karboksilik asit ve laktonları, NaHCO_3 sadece karboksilik asitleri ve HCl de tüm bazik grupları nötralize etmektedir (Goertzen vd., 2010). Biyokompozit sorbanda karboksilik, fenol ve laktonik grup miktarları sırasıyla 1.63 , 0.2 ve 2.13 mmol g^{-1} olarak hesaplanırken, bazik grup 0.88 mmol g^{-1} olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre biyokompozit sorbanın üzerinde asidik grupların bazik gruplardan daha fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 10. Doğal biyosorban, biyokompozit sorban, AK1 yüklü biyokompozit sorban ve RK2 yüklü biyokompozit sorbanın yüzey görüntüleri.

Yine immobilizasyon işleminin yüzeyel etkisini görebilmek ve biyokompozit sorban yüzeyinde

boyarmaddelerin biyosorpsiyonundan sonra olası değişiklikleri görsel açıdan değerlendirebilmek

için taramalı elektron mikroskobu görüntülerinden yararlanılmıştır. Bu amaçla doğal biyokütle, biyokompozit sorban, AK1 ve RK2 yüklü biyokompozit sorbanın taramalı elektron mikroskobu ile kaydedilen $\times 1500$ büyütmedeki SEM görüntüleri alınmış ve Şekil 10'da sunulmuştur. Şekil 10'da görüldüğü gibi, doğal biyosorbanın yüzeyi pürüzlü ve gözenekli yapıdadır. Kitosan ile immobilizasyondan sonra oluşan biyokompozit sorbanın yüzeyi ise daha kaba ve kısmen pürüzlü yapıya sahiptir. AK1 ve RK2 biyosorpsiyonundan sonra ise biyokompozit sorbanın yüzeyindeki pürüzlü görünümün azaldığı ve yüzeyin daha düz bir zemine sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, biyokompozit sorban yüzeyinin boyarmadde molekülleri ile örtüldüğünü görsel olarak kanıtlamaktadır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, bir endüstriyel tarımsal atık olan şeker pancarı posasının kitosan ile immobilize formu hazırlanmış ve bu yeni biyokompozitin alternatif bir kullanım alanında değerlendirmesi araştırılmıştır. Geliştirilen materyal tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan reaktif ve asidik boyarmaddelerden AK1 ve RK2'nin biyosorpsiyonu için kullanılmıştır. Optimize edilen biyosorpsiyon koşullarında oldukça kısa bir denge süresinde (10 dk) AK1 için %81.23; RK2 için ise %86.79 giderim verimlerine ulaşılmıştır. Kısa biyosorpsiyon denge süresinin yanında biyokompozit sorbanın yüksek derişimli tuz ortamında da biyosorpsiyon performansı sergileyebilmesi, tekstil atık sularının tuz içerikleri göz önüne alındığında pratik uygulamalar için bir diğer önemli avantajdır. Çalışmada AK1 ve RK2 biyosorpsiyon dinamikleri kinetik ve izoterm modelleriyle incelenmiş olup her iki boyarmadde için yalancı-birinci-dereceden kinetik modeli ile ve Langmuir izoterm modeline uyum sağladığı gözlenmiştir. Teorik hesaplanan tek tabakalı maksimum biyosorpsiyon kapasitesi AK1 için $358.027 \text{ mg g}^{-1}$ ve RK2 için ise $379.228 \text{ mg g}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Karakterizasyon çalışmalarında zeta potansiyeli, Boehm titrasyonu, IR ve SEM analizleri kullanılmış, biyosorpsiyonun karmaşık mekanizması açıklanmaya çalışılmıştır. Sonuçlar, geliştirilen biyokompozit sorbanın arıtım uygulamaları için ekonomik ve etkili bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

Kaynaklar

Akar, T. and Divriklioglu, M. (2010). Biosorption applications of modified fungal biomass for decolorization of Reactive Red 2 contaminated solutions: Batch and dynamic flow mode studies.

Bioresource Technology, 101(19), 7271-7277. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.04.044>.

Akar, T., Arslan, S. and Akar, S. T. (2013). Utilization of *Thamnidium elegans* fungal culture in environmental cleanup: a reactive dye biosorption study. *Ecological Engineering*, 58, 363-370. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.06.026>.

Akkaya, G. and Özer, A. (2005). Biosorption of Acid Red 274 (AR 274) on *Dicranella varia*: Determination of equilibrium and kinetic model parameters. *Process Biochemistry*, 40(11), 3559-3568. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.03.048>.

Aksu, Z. and İşoğlu, İ. A. (2005). Removal of copper (II) ions from aqueous solution by biosorption onto agricultural waste sugar beet pulp. *Process Biochemistry*, 40(9), 3031-3044. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.02.004>.

Altundogan, H. S., Arslan, N. E. and Tumen, F. (2007). Copper removal from aqueous solutions by sugar beet pulp treated by NaOH and citric acid. *Journal of Hazardous Materials*, 149(2), 432-439. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.04.008>.

An, T., Zhou, L., Li, G., Fu, J. and Sheng, G. (2008). Recent patents on immobilized microorganism technology and its engineering application in wastewater treatment. *Recent Patents on Engineering*, 2(1), 28-35. <https://doi.org/10.2174/187221208783478543>.

Arslanoğlu, H. ve Tümen, F. (2015). Sitrik asitle modifiye edilmiş şeker pancarı küspesi ile sulu çözeltilerden Pb(II) ve Cd(II) giderilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 85-99. <https://dergipark.org.tr/en/pub/fumbd/issue/29253/313185>

Barka, N., Abdennouri, M. and Makhfouk, M. E. (2011). Removal of methylene blue and eriochrome black T from aqueous solutions by biosorption on *Scolymus hispanicus* L.: Kinetics, equilibrium and thermodynamics. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42(2), 320-326. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2010.07.004>.

Bouras, H. D., Yeddou, A. R., Bouras, N., Hellel, D., Holtz, M. D., Sabaou, N., Chergui, A. and Nadjemi, B. (2017). Biosorption of Congo red dye by *Aspergillus carbonarius* M333 and *Penicillium glabrum* Pg1: Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 80, 915-923. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.08.002>.

Castro, L., Blázquez, M. L., González, F., Muñoz, J. A. and Ballester, A. (2017). Biosorption of Zn (II)

- from industrial effluents using sugar beet pulp and *F. vesiculosus*: From laboratory tests to a pilot approach. *Science of the Total Environment*, 598, 856-866. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.138>.
- Crini, G. and Badot, P. M. (2008). Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: a review of recent literature. *Progress in Polymer Science*, 33(4), 399-447. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2007.11.001>.
- De-Bashan, L. E. and Bashan, Y. (2010). Immobilized microalgae for removing pollutants: review of practical aspects. *Bioresource Technology*, 101(6), 1611-1627. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.043>.
- Demiral, H. and Gündüzoğlu, G. (2010). Removal of nitrate from aqueous solutions by activated carbon prepared from sugar beet bagasse. *Bioresource Technology*, 101(6), 1675-1680. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.087>.
- Dronnet, V. M., Renard, C. M. G. C., Axelos, M. A. V. and Thibault, J. F. (1997). Binding of divalent metal cations by sugar-beet pulp. *Carbohydrate Polymers*, 34(1-2), 73-82. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(97\)00055-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(97)00055-6).
- Dubinin, M. M. and Radushkevich, L. V. (1947). Evaluation of microporous materials with a new isotherm. In Dokl. Akad. Nauk. SSSR, 55, 331-334.
- Eddy, M., Tbib, B. and Khalil, E. H. (2020). A comparison of chitosan properties after extraction from shrimp shells by diluted and concentrated acids. *Heliyon*, 6(2), e03486. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03486>.
- Freundlich, H. (1907). Über die adsorption in lösungen. *Zeitschrift für physikalische Chemie*, 57(1), 385-470.
- Girijan, S. and Kumar, M. (2019). Immobilized biomass systems: an approach for trace organics removal from wastewater and environmental remediation. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 12, 18-29. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.08.005>.
- Goertzen, S. L., Thériault, K. D., Oickle, A. M., Tarasuk, A. C. and Andreas, H. A. (2010). Standardization of the Boehm titration. Part I. CO₂ expulsion and endpoint determination. *Carbon*, 48(4), 1252-1261. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2009.11.050>.
- Ho, Y. S. and McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451-465. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5).
- Huang, Z., Li, Y., Chen, W., Shi, J., Zhang, N., Wang, X., Li, Z., Gao, L. and Zhang, Y. (2017). Modified bentonite adsorption of organic pollutants of dye wastewater. *Materials Chemistry and Physics*, 202, 266-276. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2017.09.028>.
- Khan, M. M. R., Sahoo, B., Mukherjee, A. K. and Naskar, A. (2019). Biosorption of acid yellow-99 using mango (*Mangifera indica*) leaf powder, an economic agricultural waste. *SN Applied Sciences*, 1(11), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1537-6>.
- Kumari, K. and Abraham, T. E. (2007). Biosorption of anionic textile dyes by nonviable biomass of fungi and yeast. *Bioresource Technology*, 98(9), 1704-1710. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.030>.
- Lagergren, S. (1898). Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe. *Kungliga svenska vetenskapsakademiens Handlingar*, 24, 1-39.
- Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical Society*, 40(9), 1361-1403.
- Nawaz, S., Bhatti, H. N., Bokhari, T. H. and Sadaf, S. (2014). Removal of Novacron Golden Yellow dye from aqueous solutions by low-cost agricultural waste: Batch and fixed bed study. *Chemistry and Ecology*, 30(1), 52-65. <https://doi.org/10.1080/02757540.2013.841898>.
- Ngah, W. W., Ab Ghani, S. and Kamari, A. (2005). Adsorption behaviour of Fe (II) and Fe (III) ions in aqueous solution on chitosan and cross-linked chitosan beads. *Bioresource Technology*, 96(4), 443-450. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.05.022>.
- Özer, A., Tanyildizi, M. S. and Tümen, F. (1998). Study of cadmium adsorption from aqueous solution on activated carbon from sugar beet pulp. *Environmental Technology*, 19(11), 1119-1125. <https://doi.org/10.1080/09593331908616770>.
- Öztürk, M., Yıldız, S. ve Aslan, Ş. (2020). Nikel (II) iyonlarının atık çay'a biyosorpsiyonu: denge, kinetik ve termodinamik çalışmaları. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 985-998. <https://doi.org/10.21923/jesd.742918>.
- Pehlivan, E., Cetin, S. and Yanik, B. H. (2006). Equilibrium studies for the sorption of zinc and

- copper from aqueous solutions using sugar beet pulp and fly ash. *Journal Of Hazardous Materials*, 135(1-3), 193-199. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.11.049>.
- Rangabhashiyam, S., Anu, N. and Selvaraju, N. (2013). Sequestration of dye from textile industry wastewater using agricultural waste products as adsorbents. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4), 629-641. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.07.014>.
- Safa, Y. and Bhatti, H. N. (2011). Adsorptive removal of direct textile dyes by low cost agricultural waste: Application of factorial design analysis. *Chemical Engineering Journal*, 167(1), 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.11.103>.
- Sirajudheen, P., Nikitha, M. R., Karthikeyan, P. and Meenakshi, S. (2020). Perceptive removal of toxic azo dyes from water using magnetic Fe₃O₄ reinforced graphene oxide-carboxymethyl cellulose recyclable composite: Adsorption investigation of parametric studies and their mechanisms. *Surfaces and Interfaces*, 21, 100648. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100648>.
- Subramani, S. E. and Thinakaran, N. (2017). Isotherm, kinetic and thermodynamic studies on the adsorption behaviour of textile dyes onto chitosan. *Process Safety and Environmental Protection*, 106, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.11.024>.
- Şenol, Z. M., Gürsoy, N., Şimşek, S., Özer, A. and Karakuş, N. (2020). Removal of food dyes from aqueous solution by chitosan-vermiculite beads. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 148, 635-646. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.166>.
- Thiyagarajan, E., Saravanan, P., Saranya, P., Gandhi, N. N. and Renganathan, S. (2017). Biosorption of reactive red 2 using positively charged *Metapenaeus monoceros* shells. *Journal of Saudi Chemical Society*, 21, S1-S6. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2013.05.004>.
- Tunalı Akar, S., Yilmazer, D., Celik, S., Balk, Y. Y. and Akar, T. (2013). On the utilization of a lignocellulosic waste as an excellent dye remover: Modification, characterization and mechanism analysis. *Chemical Engineering Journal*, 229, 257-266. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.06.009>.
- Tunalı Akar, S., Yilmazer, D., Celik, S., Balk, Y. Y. and Akar, T. (2015). Effective biodecolorization potential of surface modified lignocellulosic industrial waste biomass. *Chemical Engineering Journal*, 259, 286-292. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.07.112>.
- Tunalı Akar, S., San, E. and Akar, T. (2016). Chitosan-alunite composite: an effective dye remover with high sorption, regeneration and application potential. *Carbohydrate Polymers*, 143, 318-326. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.01.066>.
- ud Din, M., Bhatti, H. N., Yasir, M. and Ashraf, A. (2016). Direct dye biosorption by immobilized barley husk. *Desalination and Water Treatment*, 57(20), 9263-9271. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1027962>.
- Vakili, M., Rafatullah, M., Salamatinia, B., Abdullah, A. Z., Ibrahim, M. H., Tan, K. B., Gholami, Z. and Amouzgar, P. (2014). Application of chitosan and its derivatives as adsorbents for dye removal from water and wastewater: A review. *Carbohydrate Polymers*, 113, 115-130. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.07.007>.
- Vučurović, V. M., Razmovski, R. N. and Tekić, M. N. (2012). Methylene blue (cationic dye) adsorption onto sugar beet pulp: equilibrium isotherm and kinetic studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 43(1), 108-111. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2011.06.008>.
- Wang, T., Zhao, P., Lu, N., Chen, H., Zhang, C. and Hou, X. (2016). Facile fabrication of Fe₃O₄/MIL-101 (Cr) for effective removal of acid red 1 and orange G from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, 295, 403-413. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.03.016>.
- Wase, D. A. J. and Forster, C. F. (Eds.). (1997). *Biosorbents for Metal Ions*. UK: CRC Press.
- Yang, Y., Wang, G., Wang, B., Li, Z., Jia, X., Zhou, Q. and Zhao, Y. (2011). Biosorption of Acid Black 172 and Congo Red from aqueous solution by nonviable *Penicillium* YW 01: Kinetic study, equilibrium isotherm and artificial neural network modeling. *Bioresource Technology*, 102(2), 828-834. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.125>.
- Zeng, L., Chen, Y., Zhang, Q., Guo, X., Peng, Y., Xiao, H., Chen, X. and Luo, J. (2015). Adsorption of Cd (II), Cu (II) and Ni (II) ions by cross-linking chitosan/rectorite nano-hybrid composite microspheres. *Carbohydrate Polymers*, 130, 333-343. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.015>.
- Zhou, Y., Lu, J., Zhou, Y. and Liu, Y. (2019). Recent advances for dyes removal using novel adsorbents: a review. *Environmental Pollution*, 252, 352-365. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.072>.

Hakkâri ili baz metal yataklarının uzaktan algılama ile belirlenmesi

Determination of base metal deposits in Hakkâri province by remote sensing

Hacı Alim BARAN *1,a

¹ Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 72100, Batman

• Geliş tarihi / Received: 21.11.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 29.01.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 03.02.2021

Öz

Eski çağlardan beri madencilik faaliyetlerine ev sahipliği yapan, 2010 yılından itibaren açılan maden ocakları ile tekrar ilgi odağı haline gelen Hakkâri, bölgede madencilik açısından incelenmesi önem arz eden illerden biridir. Bölgede gözlenen kayalar çoğunlukla karbonatlı kayalar olup, Palaeozoyik (Permiyen)-Mesozoyik (Jura) yaş aralığına sahiptirler. Bu birimlerin üzerinde Kampaniyen—Alt Maastrichtiyen yaşlı Yüksekova melanjı, Paleosen ve Miyosen yaşlı sedimanlar uyumsuz olarak gözlenmektedir. Ülkemizin önemli metalojenik kuşaklarından birinde yer alan bölge baz metaller açısından potansiyeli yüksek alanlar arasında yer almaktadır. İnceleme alanı ve çevresinde hali hazırda keşfedilmiş ve/veya işletilen 20 adet maden yatağı mevcuttur. Bunlardan 5 tanesi endüstriyel hammadde ocağı (mermer), 15 tanesi (10 Pb-Zn, 2 Cu, 3 Cr) ise metalik maden yataklarıdır. Uzaktan algılama ile maden aramada yaygın olarak kullanılan tekniklerden birisi de alterasyon tespittir. Çalışma alanındaki madenler uzaktan algılama çalışmalarında yüksek başarı oranı ile tespit edilebilen demir veya demirli mineral içermektedir. Landsat 8 uydu görüntüsü üzerinde uzaktan algılama teknikleri (band oranlaması, kontrast gemesi, renkli kompozit görüntü oluşturma) kullanılarak Hakkâri’de hali hazırda mevcut veya işletilen maden yataklarının konumları başarılı bir şekilde belirlenerek, 2 yeni potansiyel sahanın tespiti gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Alterasyon, Hakkâri, Maden yatakları, Uzaktan algılama

Abstract

Hakkari, which has been hosting mining activities since ancient times and became the center of attention again with the mines opened since 2010, is one of the provinces in the region that is of importance in terms of mining. The rocks observed in the region are mostly carbonate rocks and they have the Palaeozoic (Permian) - Mesozoic (Jurassic) age range. These units are unconformably overlain by Campanian - Lower Maastrichtian Yüksekova mélange, Paleocene and Miocene sediments. The region, which is located in one of the important metallogenic belts of our country, is among the areas with high potential in terms of base metals. There are 20 mineral deposits currently discovered and / or operated in the study area and its surroundings. 5 of them are industrial raw material quarries (marble), 15 of them (10 Pb-Zn, 2 Cu, 3 Cr) are metallic mineral deposits. One of the techniques commonly used in mineral exploration with remote sensing is alteration detection. The mines in the study area contain iron or ferrous minerals that can be detected with a high success rate in remote sensing studies. By using remote sensing techniques (lithological mapping, band proportioning, contrast stretching, color composite image creation) on Landsat 8 satellite images, the locations of the existing or operated mineral deposits in Hakkâri have been successfully identified and 2 new potential sites have been determined.

Keywords: Alteration, Hakkâri, Ore deposits, Remote sensing

*a Hacı Alim BARAN; alimbaran@gmail.com, Tel: (0488) 217 41 14, orcid.org/ 0000-0003-4859-8446

1. Giriş

İnsanoğlu eski çağlardan beri doğayı araştırmış, keşfetmek istemiş ve bu çabası sonucunda farklı açılardan doğadan faydalanmaya başlamıştır. Örneğin korunma ve avlanma ihtiyacı sonucunda kesici özelliğini keşfettiği obsidiyen gibi kayalık parçaları ile mızrak, balta, bıçak benzeri aletler yapmış, sertliği ve dayanıklılığı sebebiyle bazalt, andezit gibi kayalardan sert cisimleri parçalama veya besinleri öğütmede faydalanmıştır. Paleolitik dönemdeki ilkel madencilik deneyimlerinden beri insanoğlu sürekli kendini geliştirmiştir. Madenler her dönemde farklı şekillerde insanların hayatında yer bulmuş, eski dönemlerde güç göstergesi olarak tanımlanırken günümüzde ise gelişmişlik ve kuvvetli ekonomi ile özdeşleştirilmektedir.

Madenler, üretimin temel girdisi olan hammadde ihtiyacını karşılaması sebebiyle kalkınma ve gelişimin ana lokomotiflerindedir. Üretim için gerekli teknolojiye sahip olmanın yanı sıra hammadde ihtiyacı özellikle stratejik öneme sahip madenler için çoğu zaman büyük sorunlara sebep olabilmektedir. Sanayileşme ve endüstriyel alanda gelişim hammaddeye ulaşım ile orantılı olarak gelişmekte, çoğu zaman savaş, ambargo, ekonomik yaptırım vb. siyasi sonuçları doğurmaktadır (Çiftçi vd., 2020). Bu nedenle özellikle gelişmekte olan ülkelerin dışa bağımlılığını azaltmak, üretim ve gelişmişliğini artırmak için gerekli hammadde ihtiyacının karşılanması stratejik öneme sahip bir hedefidir.

Ülkemizde de özellikle son on yılda madencilik alanında yaşanan olumlu gelişmeler ile yeraltı zenginliklerin keşfi ve işletilmeye başlanması ile hem üretim için ihtiyaç duyulan hammadde gereksiniminde dışa bağımlılığını azaltması hem de ekonomiye doğrudan katkısı ve istihdam olanakları nedeniyle giderek önem kazanmaktadır.

Ülkemiz 6 tektonik birlikten meydana geldiği için (Okay ve Tüysüz, 1999) hem tektonik olarak oldukça hareketlidir hem de farklı jeolojik ortamlar gözlenmesi nedeniyle jeolojik olarak oldukça zengin bir yapıya sahiptir. Bu nedenle Salda gölü, Pamukkale gibi görsel güzelliğe sahip jeolojik oluşumlar, Kapadokya, Kula, Nemrut krateri, Meke gölü gibi volkanizmaya bağlı gözlenen yapılar ile zengin ve çeşitli madenlerin oluşumlarını görmek mümkündür.

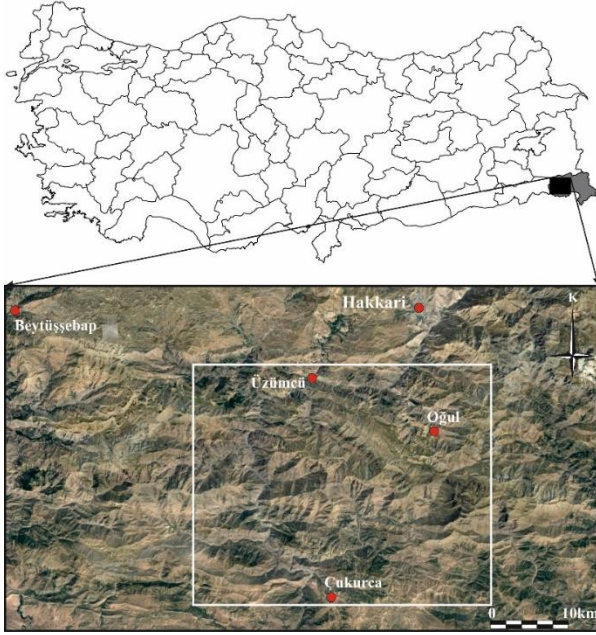
Madencilik insanların ihtiyaçlarına göre şekillenen ve gelişen bir alandır. Günümüzde artan endüstriyel üretim ve ihtiyaçları karşılamak için üretimin de aynı oranda artması kaçınılmazdır. Bu

nedenle madenciliğin de gelişerek mevcut ihtiyaçları karşılayabilecek seviyelere ulaşması gerekmektedir. Dolayısıyla günümüzde eski proseslere oranla daha hızlı, ekonomik ve minimum maliyet prensiplerine dayanan bir madencilik anlayışı gelişmiştir. Madenciliğin en problemlili aşaması olan araştırma safhası diğer aşamalara oranla en çok zaman alan, maliyetli ve çoğu zaman düşük başarı oranına sahip bir aşama olduğundan günümüz teknolojilerinden yararlanılarak bu safhanın zaman, maliyet giderlerinin azaltılarak başarı oranının artırılması amaçlanmaktadır. Ülkemizde özellikle son 20 yılda maden aramada aktif olarak uydu görüntülerinin kullanılması ile madencilik sektöründe istenilen hedeflere daha düşük maliyetler ile ulaşması mümkün olmaya başlamış, bu konuda yapılan birçok bilimsel çalışma ile de konunun önemi vurgulanarak bilimsel literatüre olumlu katkılar sunulmuştur (Vural, 2006; Aydal, 2007; Kargı, 2007; Kavak, 2010; Özelkan vd., 2011; Vural vd., 2012; Kayadibi, 2015; Canbaz vd., 2017; Uysal vd., 2017; Başbüyük ve Ekdur, 2018; Özgün ve San, 2018).

Bilindiği üzere madenlerin çoğu diğer jeolojik birimler veya yapıların aksine yeryüzünde gözlenmezler. Dolayısı ile bulunmaları hem masraflı hem de zor süreçler sonunda mümkün olabilmektedir. Bulunması hedeflenen madenlerin özelliklerine bağlı amaca uygun olarak uydu görüntüleri kullanılması sonucunda detay inceleme yapılacak sahanın daraltılması veya potansiyel sahaların direk tespiti ile arama safhası optimum zaman –maliyet ve yüksek başarı oranı ile tamamlanabilir.

Uzaktan algılama ile maden aramada;
 -Yüzeyde gözlenen madenlerin tespiti
 -Madene eşlik eden alterasyon tiplerinin belirlenmesi
 -Cevherleşmeye işaret eden bitkilerdeki anomalilerinin tespiti
 -Yapısal unsurların tespiti
 -Maden barındırabilecek litolojilerin belirlenmesi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Aranılan cevherleşmeye bağlı olarak bu yöntemlerin hepsi de kullanılabilirliği gibi genellikle en sık kullanılan yöntem alterasyonların tespitidir. Bu çalışma kapsamında ülkemizin önemli maden alanlarından biri olan, Doğu Anadolu bölgesinin güney ucunda yer alan Hakkâri ili merkezi ve Çukurca ilçesi içerisinde gözlenen Pb-Zn yatakları ele alınmıştır. İnceleme alanı, Hakkâri ilinin güney-güneybatısında olup, yaklaşık 1400 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). İnceleme alanı içerisinde Karakaya, Üzümlü, Meskantepe,

Kurşuntepe, Armutlu, Oğul, Akkaya, Destan, Süvarihalil ve Haskel cevherleşmeleri yer almaktadır. Bölgede madencilik faaliyetleri 2004 yılında Üzümcü ve Meskantepeler madenleri ile başlamış olup, 2007’de Kurşuntepe, 2009’da Karakaya, 2012’de Akkaya ve 2014’te Armutlu yataklarında devam etmektedir (Hanilçi vd., 2019). İnceleme alanı kapsayan uydu görüntülerinin değişik uzaktan algılama yöntemleri ile analizi ile mevcut maden sahalarının teyidi, olası potansiyel sahaların belirlenmesi amaçlanmıştır.

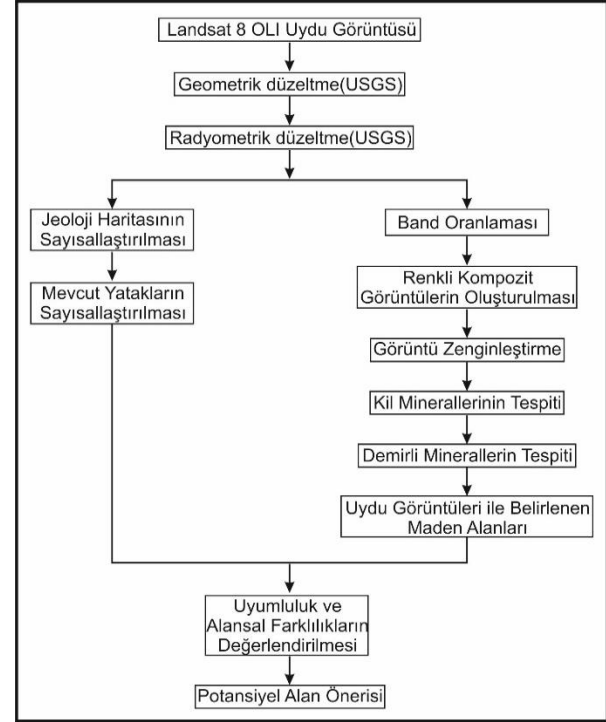


Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

2. Materyal ve metod

Çalışma alanında işletilmekte olan madenlerin konumları belirlenmiş, Hanilçi vd. 2019 tarafından hazırlanmış olan bölgenin jeoloji haritası sayısallaştırılarak sayısal yükseklik modeline giydirilmesi ile madenlerin jeoloji ve topoğrafya ile ilişkileri, stratigrafik seviyeleri gibi bilgiler elde edilmiştir. Uzaktan algılama çalışmalarında Envi, Mapinfo, Google Earth programları ile inceleme alanını kapsayan, Amerikan Jeolojik Araştırma Kurumu’ndan (USGS) alınan, 170-34 hat-sıra numaralı, 07.08.2018 tarihli, UTM projeksiyonlu, WGS 84 datumlu Landsat-8 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Uydu görüntüleri atmosferdeki şartlar, güneş ışınların geliş açısı ve verilerin kaydı aşamasında gözlenebilen sistematik hatalar nedeniyle sistematik olan veya olmayan bir takım hatalar içerir. Landsat 8, görüntüler kaydedilirken geometrik ve radyometrik düzeltmeleri yapabilen teknik donanıma sahip bir uydudur. Uydu görüntülerinin kaydı esnasında sensörler araziden yayılan enerjiyi analog olarak algılar ve verilerin

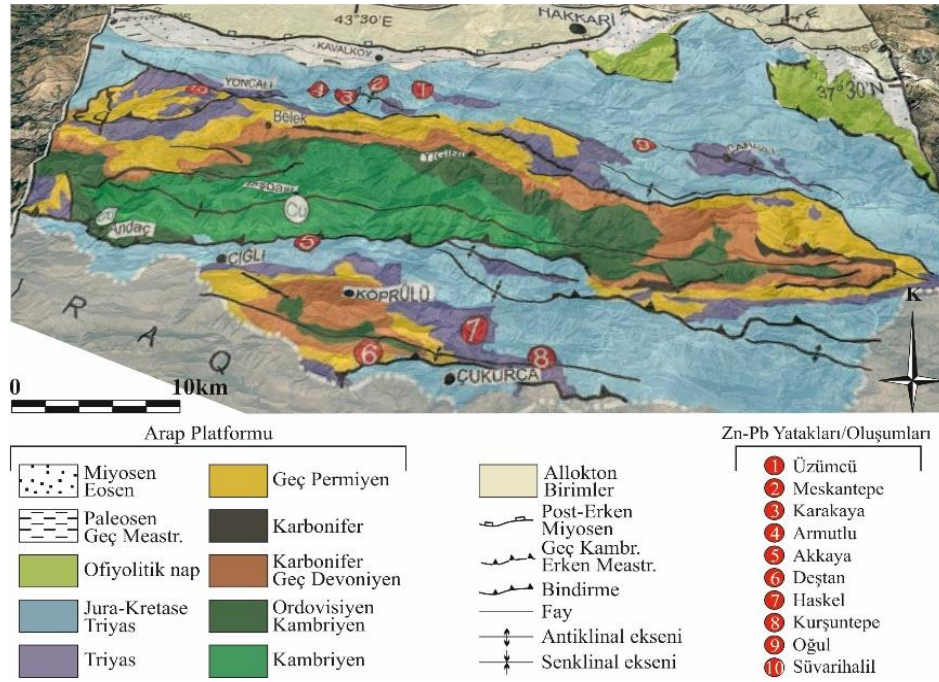
kaydı esnasında sahanın gerçek yansıma değerlerine göre bir takım sayısal değerlere dönüştürülerek kaydedilir. Bu nedenle çalışılacak sahadaki nesnelere gerçek yansıma değerlerinin elde edilebilmesi amacıyla görüntü düzeltme (dönüştürme) işlemi gerçekleştirilir. Çalışma kapsamında Landsat 8 uydu görüntüsünün yansıma değerleri elde edildikten sonra band oranlama, band aritmetiği, renkli kompozit görüntülerin oluşturulması gibi uzaktan algılama teknikleri kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. İş akış şeması

3. Bulgular

Bilindiği üzere konumsal olarak birbirine yakın olan madenler kimi zaman belirli bir tabakaya bağlı olarak meydana gelirken kimi zaman benzer jeolojik ortamda oluşurlar. Her bilimsel çalışmada olduğu gibi maden arama, potansiyel alan tespiti çalışmalarında bölgenin jeolojik ve tektonik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla literatür taraması ve mevcut cevherleşmeler hakkında bilgi edinilmesi çalışmanın sağlıklı bir şekilde yürütülmesi için önem arz etmektedir. Bu kapsamda Hanilçi vd. 2019 tarafından hazırlanmış olan bölgenin jeoloji haritası kullanılarak inceleme alanındaki işletilmekte olan cevherleşmelerin konumları belirlenmiştir. Madenlerin arazideki konumsal dağılımları, gözlemlendiği litolojilerin tespiti, tektonik yapılar ve topoğrafya ile ilişkilerini belirlemek ve potansiyel saha tespiti için ön inceleme amacıyla ilgili harita sayısallaştırılmış, sayısal yükseklik modeline giydirilmiştir. (Şekil 3).



Şekil 3. İnceleme alanına ait jeolojik haritası (Hanilçi vd., 2019)

Uzaktan algılama çalışmaları kapsamında;

- Bölgenin jeolojisi ve mevcut yatakların jeolojik özelliklerinin belirlenmesi
- Tektonik yapılar ve madenler arasındaki ilişkilerin tespiti
- Uydu görüntüleri yardımıyla kil/hidroksil minerallerin tespiti
- Uydu görüntüleri kullanılarak bölgede yer alan demir/demirli minerallerin tayini
- Uzaktan algılama teknikleri kullanılarak maden sahalarının belirlenmesi (işletilen yatakların konumsal tespiti dâhil)
- Olası potansiyel alan/alanların önerilmesi gerçekleştirilmiştir.

İnceleme alanında işletilmekte olan yatakların gözlemlendiği jeolojik birimler, cevherleşmelerin tektonik yapılarla ilişkilerinin incelenmesi sonucunda; inceleme alanının kuzeyinde yer alan cevherleşmelerin Jura-Kretase-Triyas yaşlı kireçtaşları içerisinde ve antiklinal eksenine yakın olarak ilişkili olarak oluştuğu gözlenmiştir. Deştan cevherleşmesi hariç (Permiyen kireçtaşlarında gözlenmektedir) diğer cevherleşmelerin Triyas yaşlı kireçtaşları içerisinde ve yine antiklinal eksenine yakın olarak oluştuğu belirlenmiştir. Cevherleşmelerin mineral parajenezleri incelenerek (Tablo 1) buna bağlı olarak uzaktan algılamada kullanılacak teknikler belirlenmiştir.

Tablo 1. İnceleme alanındaki mevcut yatakların mineral birliktelikleri

Cevherleşme Sahası	Mineral parajenez
Üzümlü	Simitsonit, hidrozinkit, zinkit, hemimorfit, serüzit, anglezit, sfalerit, galen, pirit, barit, kalsit, dolomit (Hanilçi ve Öztürk 2008, Santoro vd., 2013, Karakaya Şirketi, 2015)
Meskantepe	Simitsonit, hidrozinkit, zinkit, serüzit, anglezit, hemimorfit, götit, sfalerit, galen, pirit, barit, kalsit, dolomit, siderit, kuvars (Hanilçi vd., 2019)
Karakaya	Simitsonit, hemimorfit, hidrozinkit, zinkit, serüzit, anglezit, götit, siderit, kalsit, dolomit, barit, galen, sfalerit, pirit (Hanilçi ve Öztürk 2008, Santoro vd., 2013, Karakaya Şirketi, 2015)
Armutlu	Simitsonit, hemimorfit, hidrozinkit, zinkit, serüzit, anglezit, götit, siderit, kalsit, dolomit, barit, galen, sfalerit, pirit (Hanilçi vd., 2019)
Akkaya	Simitsonit, serüzit, götit, limonit, galen, barit (Hanilçi vd., 2019)
Deştan	Simitsonit, serüzit, galen (Hanilçi vd., 2019)
Kurşuntepe	Sfalerit, galen, pirit, barit, dolomit, kalsit, kuvars (Hanilçi vd., 2019)
Oğul	Galen, sfalerit, pirit, simitsonit, serüzit, anglezit, limonit, götit, barit (Hanilçi vd., 2019)

Çalışma alanındaki cevherleşmelerin mineral birlikteliklerinin incelenmesi sonucunda hepsinin demirli mineraller (pirit, götüt, hemimorfüt, limonit) içermesi ve hepsinde hidrotermal alterasyonun gözlenmesi sebebiyle literatürde alterasyon ve demirli minerallerin tespitinde yaygın olarak kullanılan;

- Kil mineralleri ve demir içeren minerallerin tespiti için 6/7 band oranı (Şekil 4a, Sabin, 1999)
 - Hidroksil minerallerin belirlenmesi için oluşturulan (6/5)*(4/5) görüntüsü (Şekil 4b, Sultan vd. 1986)
 - Demirli minerallerin tespitine olanak tanıyan yöntemler
 - 4/5 band oranı (Şekil 4c, Bersi, 2016)
 - 5/4 band oranı (Şekil 4d, Bersi, 2016)
 - Demir indeksi hesabı (Şekil 4e, Bersi, 2016)
 - R(4/2) G (5/4) B (5/7) renkli kompozit görüntü (Şekil 5a, Salem ve Gammal, 2015)
 - R(4/2) G (5/7) B (4/5) renkli kompozit görüntü (Şekil 5b, Salem ve Gammal, 2015)
 - R(4/2) G (5/7) B (5/4) renkli kompozit görüntü (Şekil 5c, Salem ve Gammal, 2015)
 - R(4/5) G (5/6) B (6/7) renkli kompozit görüntü (Şekil 5d, Bersi, 2016)
 - R(5/7) G (4/5) B (4/2) renkli kompozit görüntü (Şekil 5e, Salem ve Gammal, 2015)
 - R(5/7) G (5/4) B (4/2) renkli kompozit görüntü (Şekil 5f, Salem ve Gammal, 2015)
- uzaktan algılama teknikleri kullanılmıştır.

Uzaktan algılamada kullanılan band oranları iki farklı enerji aralığı kaydını içeren bandın matematiksel olarak oranlaması olduğundan elde edilen görüntü siyah-beyaz renklidir. Oranlanan bantların enerjileri ve belirlenmek istenilen mineralin bu enerjilere tepkisine bağlı olarak elde edilen görüntülerde sonuç kimi zaman açık kimi zaman koyu renklerle ifade edilir. 6/7 band oranı kil mineralleri ve demir oksitlerin tespiti için kullanılır ve koyu alanlar kil minerallerini işaret etmektedir (Şekil 4a). 6/5*4/5 band oranı hidroksil mineraller ve Fe-Al silikatların tespitinde kullanılır (Şekil 4b). 4/5 ve 5/4 band oranları demir tespiti için kullanılan bir oran olup, elde edilen görüntülerde 4/5'deki beyaz (Şekil 4c), 5/4'deki siyah (Şekil 4d) renkler demirli alanları işaret etmektedir (Bersi, 2016). Bersi (2016) tarafından önerilen bir diğer demir tespit metodu ise demir cevheri indeksi hesaplamasıdır. Bu yöntemde demiri cevher indeksi aşağıda verilen 1 numaralı denklem ile hesaplanmakta ve beyaz alanlar demirli alanları işaret etmektedir (Şekil 4e). Bu

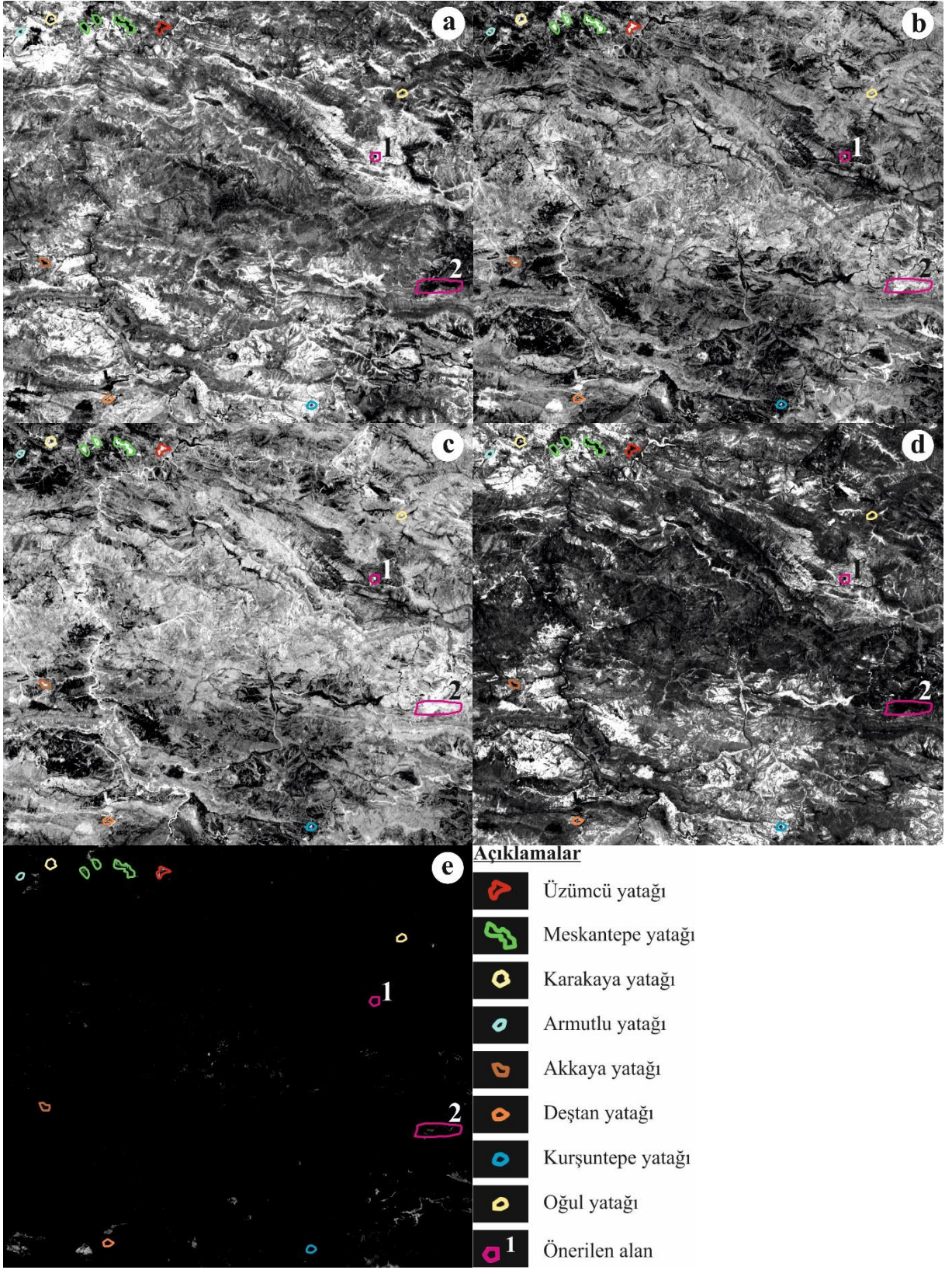
yöntem uygulanırken denklem 1 de belirtilen bant aritmetiğinin yanı sıra elde edilen görüntüde demir cevheri için spesifik radyometrik aralığı olan 0,88-2,77 absorpsiyon için kontrast germesi uygulanmalıdır.

Demir Cevheri İndeksi=

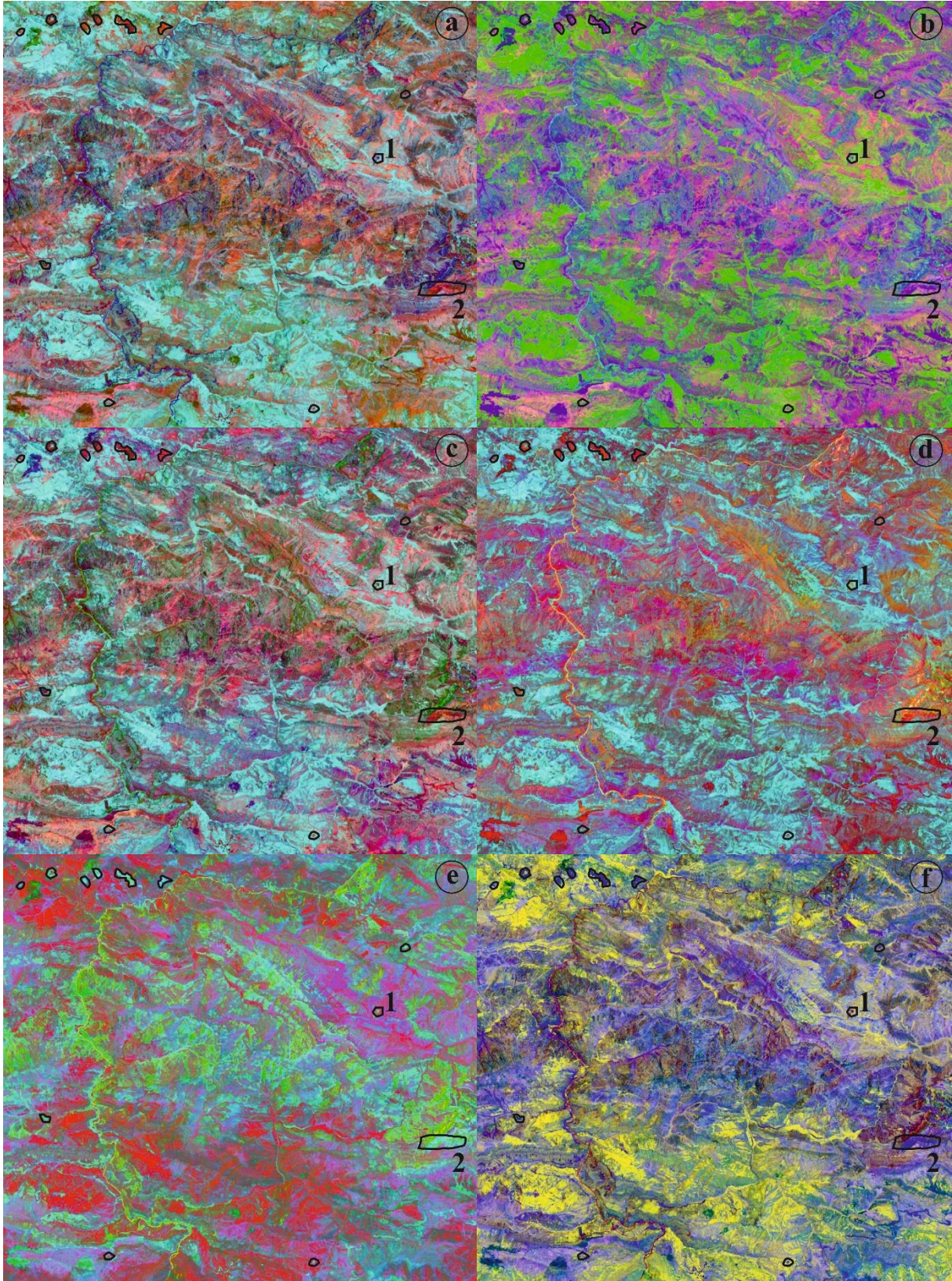
$$\left(2 * \frac{B6}{B5}\right) - \left(3 * \frac{B5}{B7}\right) \quad (1)$$

Bilindiği üzere beyaz ışık üç ana renkten meydana gelir ve uydu görüntülerinde kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) olmak üzere bu üç ana renk bandına kendi enerjileri yüklenirse ilgili arazinin doğal veya gerçek renk görüntüsü elde edilmiş olur. Bunun dışındaki enerjiler kullanılarak oluşturulan bütün görüntüler sahte renkli (false colour) görüntülerdir ve incelenen arazi çoğu zaman aykırı renklerde görülür. Oluşturulan renkli kompozit görüntülerden elde edilen sonucun ayırt edilebilme yeteneğinin artırılması ve görsel açıdan anlaşılabilirliğini artırmak amacıyla görüntünün yansıma değerlerine göre en iyi sonuç veren kontrast germe yöntemi uygulanır. İnceleme alanında elde edilen görüntülerin histogram değerleri normal dağılım sergilediğinden Gaussian kontrast germe tekniği uygulanmıştır.

Demirli mineraller ile kil minerallerinin tespiti amacıyla gerçekleştirilen sorgularda cevher ve/veya alterasyon minerallerini işaret eden alanların değerlendirilmesi sonucunda tespit edilen alanların bir kısmının hali hazırda işletilmekte olan maden ocaklarını işaret ettiği belirlenmiş, dolayısıyla mevcut yatakların konumları başarılı bir şekilde belirlenerek teyidi gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanındaki cevherleşmeler tabaka bağımlı SEDEX tip cevherleşmeler olduğundan (Santoro vd., 2013; Hanilçi vd., 2019) benzer litoloji, stratigrafik seviye ve tektonik ortamda gözlenmeleri olağandır. Ayrıca tespit edilecek yeni sahalarında mevcut yataklar ile benzer özelliklere sahip olmaları, aynı litoloji, tektonik ortamda gözlenmeleri beklenen bir sonuçtur. Bu kapsamda cevher ve/veya alterasyon mineralleri için olumlu sorgulama sonuçları alınan mevcut maden yatakları ile aynı kayaçlar içerisinde ve benzer tektonik ortamda gözlenen 2 adet lokasyon, inceleme alanında maden oluşumuna sebep olan sistemin bir parçası oldukları şeklinde yorumlanarak potansiyel cevherleşme alanı olarak önerilmiştir. İlgili lokasyonlar Şekil 4 ve Şekil 5'teki uydu görüntülerinde 1 ve 2 numaralı alan olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. İnceleme alanına ait band aritmetiği ile oluşturulan uydu görüntüleri (a: 6/7, b: (6/5)*(4/5), c:4/5, d: 5/4, e: demir indeksi)



Şekil 5. İnceleme alanına ait renkli kompozit uydu görüntüleri (a: R(4/2) G (5/4) B (5/7), b: R(4/2) G (5/7) B (4/5), c: R(4/2) G (5/7) B (5/4), d: R(4/5) G (5/6) B (6/7), e: R(5/7) G (4/5), B(4/2), f: R(5/7) G (5/4) B (4/2))

4. Tartışma ve sonuçlar

İnceleme alanının jeolojik ortamı, metalojenik zon bilgileri, gözlenen litolojik birimler ve önceki çalışmalardan derlenen bilgilerin yorumlanması

sonucunda bölgenin maden açısından yüksek potansiyele sahip olduğunu söylemek mümkündür. Halı hazırda 6 madenin aktif bir şekilde işletilmesi ve bölgede arama faaliyetlerinin artarak devam

etmesi bölgenin potansiyelinin bir diğer göstergesidir.

Cevher ve/veya alterasyon oluşumunu işaret eden demirli mineraller ile kil minerallerinin tespiti amacıyla band oranları (6/7, 4/5, 5/4), (6/5)*(4/5) ve demir indeksi hesabı ile renkli kompozit görüntüler (4/2 5/4 5/7; 4/2 5/7 4/5; 4/2 5/7 5/4; 4/5 5/6 6/7; 5/7 4/5 4/2; 5/7 5/4 4/2) oluşturulmuştur. Uygulanan uzaktan algılama teknikleri ile elde edilen spektra değerlerinin yorumlanması sonucunda mevcut yatakların konumları başarılı bir şekilde belirlenmiştir. Mevcut cevherleşmeler ile benzer yansıma değerlerine sahip, yan kayaç litolojisi ve tektonik ortam bakımından benzer özellikler sunan 2 alan, potansiyel cevherleşme alanı olarak önerilmiştir.

Bu çalışma, arazi çalışmaları ve jeolojik gözlemler açısından Hakkâri gibi zorlu coğrafik koşullara sahip sahalarda uzaktan algılama yöntemlerinin kullanılarak maden sahalarının ve/veya potansiyel alanların belirlenmesi ile sonraki çalışmaların bu sonuçlara göre planlanması sonucunda hem zaman hem ekonomik kazanç sağlanması açısından önemli olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu teknikler güvenlik açısından hassas olan sahalarda da rahatlıkla uygulanarak sadece belirlenen alanlarda arazi çalışması planlanması ile güvenlik zafiyeti minimuma indirilmesi mümkündür.

Bu tarz çalışmalar özellikle Hakkâri gibi iş olanakları ve istihdam sahaları az olan illerde hem sayı hem içerik yönünden artırılarak yapılmasıyla, yeni istihdam alanlarının oluşturulması ve il ekonomisine olumlu katkılar sağlanması açısından stratejik önem arz etmektedir.

Kaynaklar

Aydal, D. ve Vural, A. (2007). Alakeçi-Kısacık (Bayramiç-Balıkesir) cevherleşme bölgesinin Landsat 7 ETM+ kullanılarak Crosta tekniği ile incelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(3), 29-40.

Başbüyük, Z. and Ekdur, E. (2018). Determination of iron minerals with landsat ETM+, Kırşehir, Turkey. *Mineral Resources Management*, 34(3), 23-36. <https://doi.org/10.24425/122579>

Bersi, M. Saibi, H. and Chabou, M. C. (2016). Aerogravity and remote sensing observations of an iron deposit in Gara Djebilet, southwestern Algeria. *Journal of African Earth Sciences*, 116, 134-150. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.01.004>

Canbaz, O. Gürsoy, Ö. ve Gökçe, A. (2017). Aster uydu görüntüleri ile hidrotermal alterasyon alanlarının belirlenmesi: Ağmaşat Yaylası-Zara (Sivas) / Türkiye örneği. *Cumhuriyet Sci. J.*, 38(3), 419-426. <http://dx.doi.org/10.17776/cs.j.340473>

Çiftçi, A. Ural, M. N. ve Vural, A. (2020). Baz metallerin dünya siyasi tarihindeki önemli olaylarla bağlantısının retrospektif literatür taraması yöntemi ile araştırılması. *International Social Sciences Studies Journal*, 6(60), 1453-1451. <http://dx.doi.org/10.26449/sss.j.2240>

Gibson, P. J. and Power, C. (2000). *Introductory remote sensing: digital image processing and applications*, London: Routledge. <https://doi.org/10.1017/S0016756801244951>

Hanilçi, N. and Öztürk, H. (2008). Hakkâri region Zn-Pb deposits: preliminary evidence for their geological features and formation. *Proceedings symposium on geology and mining of Pb-Zn deposits of Turkey* (pp244–264). Istanbul.

Hanilçi, N. Öztürk, H. and Kasapçı, C. (2019). Carbonate-hosted Pb-Zn deposits of Turkey, F. Pirajno, T. Ünlü, C. Dönmez, M.B. Şahin (Ed.) in: *Mineral Resources of Turkey* (pp.497-534). Switzerland: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02950-0>

Karakaya İşletmesi. (2015). *The ore zones of Karakaya Pb-Zn deposits and Ore Potential*. p25.

Kargı, H. (2007). Principal components analysis for borate mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 28(8), 1805-1817. <https://doi.org/10.1080/01431160600905003>

Kavak, K. S. (2010). Recognition of gypsum geohorizons in the Sivas Basin (Turkey) using ASTER and Landsat ETM+ images. *International Journal of Remote Sensing*, 20(20), 4583-4596. <https://doi.org/10.1080/01431160500185607>

Kayadibi, Ö. (2015). Landsat 7 ETM+ ve ASTER görüntüleri ile Yusufeli-Tekkale (Artvin-KD Türkiye) çevresindeki hidrotermal alterasyonların incelenmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 58(2), 29-54. <https://doi.org/10.25288/tjb.298558>

Okay, A. I. and Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. Durant, B., Jolivet, F., Horvath, F., Seranne, M. (Ed.). *The Mediterranean basin: Tertiary extension within the Alpine orogen* (pp475–515). London: Geological Society, Special Publication. <http://dx.doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22>

Özgün, M. E. and San B. T. (2018). Mapping evaporite minerals using Aster TIR image in Beypazarı,

- Ankara (Turkey). *9th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology* (pp 241-242), Antalya.
- Özelkan, E. Karaman, M. ve Uça Avcı, Z. D. (2011). Madencilik faaliyetlerinin izlenmesinde uydu görüntülerinin kullanılabilirliği. Kazdağları örneği. *International Symposium on Kaz Mountains (Mount Ida) and Edremit (Global Change in the Mediterranean Region)* (pp. 227-233). Balıkesir.
- Sabins, F. F. (1999). Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, 14, 157–183. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(99\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(99)00007-4)
- Salem, S. M. and El Gammal, E. A. (2015). Iron ore prospection East Aswan, Egypt, using remote sensing techniques. *Ore Geology Reviews*, 18, 195–206. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.04.003>
- Santoro, L. Boni, M. Herrington, R. and Cleeg, A. (2013). The Hakkari nonsulide Zn–Pb deposit in the context of other nonsulide Zn–Pb deposits in the Tethyan Metallogenic Belt of Turkey. *Ore Geology Reviews*, 53, 244–260. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.01.011>
- Sultan, M. Arvidson, R. E. and Sturchio, N. C. (1986). Mapping of serpentinites in the Desert of Egypt using Landsat Thematic Mapper data. *Geology*, 14, 995–999. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1986\)14%3C995:MOSITE%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1986)14%3C995:MOSITE%3E2.0.CO;2)
- Uysal, M. Turgut, B. Polat, N. Dereli, M. A. ve Yalçın, M. 2017. Uzaktan algılama teknikleri ile açık maden ocaklarında bor minerallerinin tespiti. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (Özel Sayı), 270-276.
- Vural, A. (2007). *Bayramiç ve çevresindeki altın zenginleşmelerinin araştırılması*. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Vural, A. Çorumluoğlu, Ö. ve Asri, İ. (2012). Eski Gümüşhane (Süleymaniye) ve yakın çevresindeki alterasyon alanlarının Landsat uydu görüntüsü kullanılarak Crosta tekniği ile araştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 36-48.

Silah hedef atama problemi için uyarlanmış yerel arama ile yeni bir melez genetik algoritma

A new hybrid genetic algorithm with local search adapted for weapon target assignment problem

Osman PALA*^{1,a}

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, 70100, Karaman

• Geliş tarihi / Received: 19.02.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 02.02.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 09.02.2021

Öz

Silah Hedef Atama Problemi, np-zor bir optimizasyon problemidir. Problemdaki amaç, hedeflere uygun silahların atanması ile toplam hedeflerin hayatta kalma değerini minimize etmektir. Doğrusal olmayan fonksiyonlar ve tam sayılı karar değişkenleri ile problem, çözüm açısından oldukça zor yapıdadır. Bu nedenle problem, çoğunlukla sezgisel yaklaşımlar ile çözülmeye çalışılmaktadır. Çalışmada, problemin çözümü için probleme özgü yerel arama prosedürüne sahip yeni bir Melez Genetik Algoritma önerilmiştir. Literatürden elde edilen örnek problemlerin çözümüyle, önerilen Melez Genetik Algoritmanın etkinliği değerlendirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde geliştirilen yaklaşımın problemin çözümünde yüksek başarıya sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Genetik algoritma, Silah hedef atama problemi, Yerel arama prosedürü

Abstract

The Weapon Target Assignment Problem is a np-hard optimization problem. The aim of the problem is to minimize the survival value of total targets by assigning appropriate weapons to the targets. With non-linear functions and integer decision variables, the problem is quite difficult in terms of solution. Therefore, the problem is mostly tried to be solved by heuristic approaches. In the study, a new Hybrid Genetic Algorithm with a problem-specific local search procedure is proposed to solve the problem. The efficiency of the proposed Hybrid Genetic Algorithm was evaluated by solving the sample problems obtained from the literature. When the results were examined, it was seen that the approach developed had high success in solving the problem.

Keywords: Genetic algorithm, Weapon target assignment problem, Local search procedure

*^a Osman PALA; osmanpala@kmu.edu.tr, Tel: (0554) 943 83 13, orcid.org/0000-0002-2634-2653

1. Giriş

Silah Hedef Atama Problemi (SHAP) önemli bir optimizasyon problemi olup çoğunlukla askeri alanda karşılaşılmakla birlikte aynı zamanda işletmelere yönelik reklam bütçesi oluşturma (Çetin ve Esen, 2006) gibi farklı alanlarda da ortaya çıkabilmektedir. SHAP probleminde ifade edilen silahlar, nesne ve hedefler de, hedef nesne olarak düşünülerek problem farklı amaçlar için kullanılabilir. Birden çok nesnenin bir hedef nesneye atanabilmesi, hedef nesnelerin üzerlerine atama yapılarak belirli limitlere kadar doyurulması ve limit aşımında ilgili hedef nesneye yeni atamanın fayda sağlamaması şeklinde özellikleri ile problem çok farklı alanlarda uygulanabilecek genel bir matematiksel modele sahiptir.

SHAP probleminin askeri alanda kullanımında ise değişik türde silahların, farklı değerlere sahip hedeflere ataması yapılarak hedeflerin toplamının sağ kalma değerlerini en küçüklemek amaçlanmaktadır (Ahuja vd., 2007).

Manne'nin (1958) ilk kez tanımladığı SHAP, matematiksel modelinin barındırdığı doğrusal olmayan fonksiyonlar ve sadece tam sayı değer alabilen karar değişkenleri nedeniyle, klasik matematiksel metotlarla çözümü oldukça zor olan bir problemdir. Özellikle kısa sürede çözüm beklenen askeri sistemlerde bu metotların kullanımı mümkün olmamaktadır. Bu nedenle problemde en iyi değere yakınsayan ve hızlı çözüm üreten sezgisel yaklaşımlar tercih edilmektedir (Kline vd., 2019).

Sezgisel Algoritma ile SHAP'ın ele alındığı çalışmalar incelendiğinde; Lee vd., (2002) bağımsızlığa dayanan Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) ile problemi ele almışlardır. Önerdikleri yöntemde KKO'nun arama anlayışı ve yerel optimumları aşabilme gücünü bağımsızlık sistemi yaklaşımının küçük bölgelerde optimumu bulabilme yeteneğiyle birleştirmişler ve örnek problemlerde başarılı sonuçlara ulaşmışlardır. Lee vd., (2003) yerel arama ile güçlendirilmiş Genetik Algoritma (GA) ile SHAP için yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Oluşturulan senaryolar ve örnek problemlerin çözülmesi sonucunda önerilen yaklaşımın bilinen yaklaşımlara göre daha iyi sonuçlar üretebildiği ifade edilmiştir. Fu vd., (2006) tarafından yapılan çalışmada GA ve KKO'nun birlikte kullanıldığı bir melez GAKKO algoritması önerilmiştir. Geliştirilen metotta ilk önce GA ile çeşitlilik sağlanmakta sonra ise KKO ile optimuma ulaşmaya çalışılmaktadır. Bölgesel

hava savunma sistemleri düşünülerek oluşturulan örnek problemlerin çözümünde önerilen yaklaşımın diğer metotlara göre üstünlüğü ortaya çıkmıştır. Lu vd., (2006) GA'da yaptıkları iyileştirmelerle askeri deniz filosunun hava savunma sistemlerinin ele alındığı çalışmada SHAP olarak modellenen problemi etkin bir şekilde çözdüklerini belirtmişlerdir. Önerilen algoritmada başlangıç popülasyonu, seçim süreçleri ve parametre adaptasyonlarında iyileştirmeler yapılmıştır. Zeng vd., (2006) çalışmalarında GA ile Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritmalarını birlikte kullanarak SHAP için yeni bir yaklaşım üretmişlerdir. Arama yaklaşımında açgözlü arama konseptini kullanan yöntem ile örnek problemlerde bilinen sezgisel yöntemlere göre daha iyi sonuç elde edilmiştir. Yanxia vd., (2008) SHAP için KKO'yu kullanmışlardır. Algoritmada probleme özgü adaptasyonlar gerçekleştirdikleri çalışmalarında ürettikleri örnekte 20 adet silah bulunurken 6 adet hedef yer almaktadır. Buna göre önerdikleri yaklaşımla örnek problemin çözümünde etkin sonuç elde edildiğinin altı çizilmiştir. Zhou vd., (2016) tarafından yapılan çalışmada farklı mesafedeki hedef ve farklı atış menzillerine sahip silahlara göre ele aldıkları SHAP için GA ile destekledikleri ayrık PSO'yu önermişlerdir. Çalışmada GA'nın mutasyon ve çaprazlama operatörlerinden faydalanılırken kısıt aşımını engellemek için ceza fonksiyonundan faydalanılmıştır. Simulasyon sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın klasik GA ve PSO'ya göre daha iyi sonuçlar ürettiği ifade edilmiştir. Yang vd., (2016) çalışmalarında SHAP matematiksel modelini kullanarak kara konumlu hava savunma sistemlerinin hedeflere karşı kullanımı problemi üzerinde durmuşlardır. Önerdikleri adaptif bağımsızlığa dayalı GA yöntemi ile test probleminde yakınsama hızı ve çözüm kalitesi açısından bilinen sezgisellere göre daha iyi sonuç elde etmişlerdir. Hongtao ve Fengju (2016) askeri deniz filosunun konumlanması ve filoya ait hava savunma sistemlerinin farklı tipte hedefler karşısındaki savunma stratejileri üzerinde durdukları çalışmalarında problemi SHAP matematiksel modeli üzerinden incelemişlerdir. Adaptif kaos teorisi ve paralel popülasyon yaklaşımından faydalanan yeni geliştirdikleri klonal seleksiyon algoritması ile oluşturdukları savaş senaryolarında başarılı sonuçlar elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Sonuç vd., (2017) SHAP için paralel Benzetiilmiş Tavlama (BT) geliştirdikleri çalışmalarında simülasyonlarla oluşturdukları örnek problemleri önerdikleri yöntemle klasik BT'ye göre daha hızlı ve etkin bir şekilde çözebildiklerini belirtmişlerdir. Li vd., (2017) çalışmalarında SHAP için modifiye

edilmiş KKO modeli önermişlerdir. Problemin iki amaçlı olarak ele alındığı modelde birinci amaç hasar maksimizasyonu iken diğeri ise kullanılan silah maliyetini minimize etmektir. Kara konuşlu hava savunma sistemlerine göre oluşturulan senaryolarda önerilen yöntem ile literatürde yer alan diğeri sezgisellere göre daha iyi sonuç alındığının altı çizilmiştir. Kutucu ve Durgut (2018) SHAP için Yapay Arı Kolonisi (YAK) ve BT'yi birleştirerek elde ettikleri yeni bir melez sezgisel algoritma önermişlerdir. Önerilen algoritmada seçim yöntemleri olarak rulet tekerleği, turnuva ve budama yaklaşımları ile komşuluk üretmede ise yer değiştirme, tersine çevrim ve araya ekleme ayrı ayrı denenmiştir. Literatürde yer alan test problemlerini klasik yaklaşımlara göre daha başarılı çözdüklerini ifade etmişlerdir. Hu vd., (2018) SHAP için havadan havaya çarpışma senaryosuna göre farklı tipte askeri kısıtları ve amaç fonksiyonları bulunan matematiksel modeller oluşturmuşlar ve geliştirdikleri iyileştirilmiş KKO ile çözüm önermişlerdir. Çalışmalarında problemi dinamik olarak ele almışlar ve gerçekleştirdikleri simülasyon ile önerilen yaklaşımın etkinliğini göstermişlerdir. Li vd., (2018) çalışmalarında SHAP problemini çok amaçlı olarak ele almışlardır. Amaçlardan bir tanesi klasik SHAP amaç fonksiyonu olurken diğeri ise kullanılan silah sayısını minimize etmektir. Problemin çözümünde çok amaçlı evrimsel algoritma ile Pareto etkin sınırı elde etmişlerdir. Algoritmada probleme özgü ayrışım mekanizması geliştirerek literatüre katkıda bulunmuşlardır. Chang vd., (2018) SHAP'ın çok aşamalı bir türü olan ve dinamik SHAP olarak adlandırılan problemin çözümü için iyileştirilmiş YAK algoritması önermişlerdir. Dört farklı sezgisel tabanlı kural ile güçlendirdikleri algoritmaları ile farklı boyutlarda simule edilen örnek problemleri çözmüşler ve etkin çözüme ulaştıklarını ifade etmişlerdir. Hocaoglu (2019) tarafından yapılan ve kara konuşlu hava savunma sistemlerinin olası tehditlere göre optimizasyonunun ele alındığı çalışmada SHAP iki amaçlı bir problem olarak ele alınmıştır. Birinci amaç klasik olarak hedeflerin toplam hayatta kalma olasılık değerlerini minimize etmekten ek olarak minimum sayıda silah kullanılması hedeflenmiştir. Kullanılan kural tabanlı yaklaşımla oluşturulan senaryolarda hızlı ve etkin çözümler elde edildiği belirtilmiştir. SHAP'ı konu alan ve Kline vd., (2019) tarafından yapılan çalışmada problemin gerçek hayatta farklı tipte problemlere değişik türde varsayımlar altında nasıl uyarlandığı ve bu ortaya çıkan yeni problemleri ele alan çözüm yöntemlerinin bu durumda nasıl geliştiği karşılaştırmalı bir şekilde incelenmiştir. Wang vd.,

(2019) çalışmalarında kara hedeflerine taaruz tipinde modelledikleri SHAP için başlangıç popülasyonu seçiminde değişkenlerin değer aralıklarına göre problem çözüm uzayını sınırladıkları GA ile örnek problemlerde iyi performans elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Sonuç (2020) tarafından modifiye edilmiş Karga Arama Algoritması (KAA) ile SHAP için yeni bir algoritma önerilmiştir. Algoritmada belirli iterasyon sayısı boyunca iyileşme sağlanmadığında algoritmanın çözüm uzayında yeni bir noktadan başlamasını sağlayan bir parametre ile iyileştirilme yapıldığı ifade edilmiştir. Literatürde yer alan test problemlerinde güncel algoritmalara göre daha iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir.

SHAP, özellikle günümüzde gelişen füze sistemleri, insansız hava araçları gibi askeri teknolojiler ile güncelliğini artıran önemli bir problem tipidir. Bu çalışmadaki temel amaç, statik SHAP çözümü için yüksek performans ve başarıya sahip bir sezgisel algoritma geliştirmektir. Bu bağlamda SHAP'a özgü yerel arama prosedürüne sahip yeni bir Melez GA yaklaşımı geliştirilerek literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir. Literatürde farklı çalışmalarda yer alan örnek problemler kullanılarak geliştirilen yaklaşımın performansı değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve metot

2.1. Silah hedef atama problemi

SHAP ilk kez Manne'nin (1958) çalışmasında tanımlanmıştır. Problemden farklı özellikte silah ve bunların farklı ihtimallerde saf dışı bırakabileceği hedefler bulunmakta ve amaçlanan ise hedeflerin toplam saf dışı kalma ihtimal değerini en büyükmektir. Problem bir başka açıdan hedeflerin toplam sağ kalma ihtimal değerlerini en küçükmek şeklinde de ifade edilebilmekte ve problemin bu haline göre modellenmiş hali aşağıdaki gibidir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^n V_j \prod_{i=1}^m q_{ij}^{x_{ij}} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq W_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$x_{ij} \in \mathbb{Z}_+ \quad (3)$$

Problemin matematiksel modelinde yer alan amaç fonksiyonu ile n adet hedefe kilitlenen m adet silah

türünün V_j hedef değeri, q_{ij} silahın hedefi saf dışı bırakma ihtimali, x_{ij} hedefe kilitlenen silah türü adeti değişkenlerine göre hedeflerin toplam sağ kalma ihtimal değerlerini en küçüklemek amaçlanmaktadır. Kısıtlar ile W_i silah türlerine ait sayılara göre kısıtlamalar ve karar değişkeni x_{ij} 'nin alabileceği değerler tanımlanmaktadır.

2.2. Genetik algoritma

Holland'ın (1975) ortaya attığı GA'da evrim kavramından yola çıkılarak nesillerin zaman geçtikçe iyileşme süreci, optimizasyon problemlerinde uygun çözümlerin iterasyonlar boyunca iyileşmesi için uyarlanmıştır.

GA'da probleme dair uygun çözümler kromozom adı verilen ve genlerden oluşan yapılarla temsil edilmektedir. Problem için çalışma dahilinde kullanılan gen kodlama yapısı beş silah tipi ve üç hedef bulunan örnek problem için Tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1. Kromozom yapısı

Kromozom X	2	2	1	3	1
Kromozom Y	1	2	3	2	3

Tablo 1'de Kromozom X'de üçüncü ve beşinci sıralarda 1 değerinin yer alması 3. ve 5. silahın birlikte 1. hedefe yöneldiği dördüncü sırada 3 değerinin yer alması ise üçüncü hedefe dördüncü silahın kilitlendiğini ifade etmektedir.

Çalışmada kullanılan GA yaklaşımı aşağıdaki dört safhada gerçekleştirilmektedir.

Safha 1: Başlangıç popülasyonu oluşturma

GA'da her zaman için algoritmanın başlangıç popülasyonu bulunmak durumundadır. Çalışma kapsamında bu popülasyon tek düze dağılıma göre şekillenmiştir. Elde edilen her bir kromozomun uygunluk fonksiyonu değeri SHAP matematiksel modelindeki amaç fonksiyonu kullanılarak hesaplanmaktadır.

Safha 2: Kromozom seçimi

Kromozom topluluğundan yeni kromozomların üretilmesinde ise ilk önce üretim işleminde kullanılacak kromozomların seçimi gerekmektedir. Çalışma dahilinde iyi kromozomların daha yüksek olasılıkla seçim ilkesini benimseyen rulet tekerleği kullanılmıştır. Seçim işleminde GA'da önemli bir yaklaşım olan elitizmden yararlanarak biri elit diğeri de popülasyonun genelinden kromozom

seçimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan elitizm yaklaşımına göre popülasyonlardaki en iyi kromozomları korumak için ilk %5'lik dilime giren kromozomların her bir iterasyonda yeni popülasyona direk aktarımı sağlanmıştır. Seçim sonucunda elde edilen kromozomlar tamamen aynı olduğunda ise rassal olarak yeni bir kromozom seçim için oluşturularak kullanılmıştır. Burada amaçlanan benzer kromozomların popülasyonda sıklaşmasının önüne geçerek çeşitliliği artırmaktır.

Safha 3: Çaprazlama

Seçim sonrası elde edilmiş kromozomları kullanarak yeni kromozom oluşturma işlemi ise çaprazlama olarak ifade edilmektedir. Çalışma kapsamında Hoff vd. (1996) tarafından kullanılan gen bazlı çaprazlama tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan GA yönteminde her iki kromozomdan eşit olasılıkla olacak şekilde gen aktarımı yeni kromozoma yapılmıştır. Tablo 2'de GA'da çaprazlama işlemi örneği bulunmaktadır.

Tablo 2'ye bakıldığında her bir gen için tek düze dağılıma göre oluşturulan rassal sayı 0.5'ten küçük olduğunda Kromozom X'in ilgili geni, rassal sayı 0.5'ten büyük olduğunda ise Kromozom Y'nin ilgili geni yeni oluşturulan Kromozom Z'ye geçmiştir. Örnek olarak birinci sıralarda Kromozom X'de 2 ve Kromozom Y'de 1 değerleri yer almaktadır. Birinci sıradaki rassal sayı 0.5'ten az olması sebebiyle Kromozom X'in geni, Kromozom Z'ye aktarılan değer olmuştur. Kromozom Z'ye üçüncü gen olarak ise rassal sayı 0.85'e bağlı olarak Kromozom Y'ye ait gen aktarılmıştır.

Tablo 2. Kromozom çaprazlama işlemi

Kromozom	<u>2</u>	<u>1</u>	1	<u>3</u>	2
Kromozom	1	2	<u>3</u>	2	<u>3</u>
Rassal Sayı	0.13	0.34	0.85	0.23	0.88
Kromozom	2	1	3	3	3

Çalışma kapsamında, GA'da popülasyondaki her bir kromozom için çaprazlamanın gerçekleşme olasılık değeri, Lee vd. (2003) tarafından da SHAP için kullanılan, 0.8 olarak belirlenmiştir. Bu şekilde belirli sayıda eski popülasyondaki kromozom yeni popülasyona değişmeden aktarılmış olmaktadır.

Safha 4: Mutasyon

GA yaklaşımında son işlem olarak ise popülasyondaki çeşitliliği artırmak için kullanılan mutasyon işlemi bulunmaktadır. Çalışma

kapsamında iki genin karşılıklı yer değiştirmesine dayalı mutasyon, Lee vd. (2003) tarafından SHAP için önerildiği şekilde, 0.4 olasılıkla popülasyon için kullanılmıştır.

Öte yandan popülasyonun çeşitliliğini sağlamak adına mutasyon safhasından sonra her 10 iterasyonda bir olmak üzere popülasyonda tüm genleri aynı olan kromozomlardan sadece bir tanesi popülasyonda tutularak diğerleri atılmış ve yerlerine rassal olarak oluşturulan yeni kromozomlar eklenmiştir.

2.3. Yerel Arama Algoritması

Çalışma kapsamında GA'nın tüm safhaları tamamlandıktan sonra her bir iterasyonda en iyi uyum değerine sahip bir adet kromozom üzerinde yerel arama algoritması kullanılarak daha iyi sonuç aranmıştır. Aynı kromozomun tekrar yerel arama algoritmasında kullanılmasını önlemek için yerel

arama algoritmasında kullanılan kromozomların bulunduğu bir tabu listesi eklenmiştir.

Yerel arama algoritmasında dört farklı yaklaşım ele alınmıştır. Bunlardan üçü sıklıkla kullanılan ve aynı zamanda Kutucu ve Durgut (2018) tarafından da SHAP için önerilen komşuluk üretme yaklaşımlarıdır. Komşuluk üretme algoritmalarından ilki yer değiştirme olup, rassal olarak belirlenen iki konumdaki değerlerin değiştirilmesine dayanmaktadır. İkincisi ise tersine döndürme olarak adlandırılmakta ve rassal olarak belirlenen başlangıç noktası ile bitiş noktasının aralığında bulunan değerlerle birlikte tersine çevrilmesine dayanır. Son olarak üçüncü komşuluk üreten yaklaşım ise araya sokma ile ifade edilmekte ve seçilen iki konumdaki değerlerden bir tanesinin diğerinin sağına eklenmesi ile gerçekleştirilmektedir. Her üç yaklaşıma dair örnekler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Komşuluk üreten yaklaşımlar

Yer Değiştirme ile Komşuluk Üretme					
Eski Kromozom	<u>1</u>	2	3	<u>4</u>	5
Yeni Kromozom	<u>4</u>	2	3	<u>1</u>	5
Tersine Döndürme ile Komşuluk Üretme					
Eski Kromozom	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	5
Yeni Kromozom	<u>4</u>	<u>3</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	5
Araya Sokma ile Komşuluk Üretme					
Eski Kromozom	<u>1</u>	2	3	<u>4</u>	5
Yeni Kromozom	2	3	<u>4</u>	<u>1</u>	5

Çalışma kapsamında ayrıca SHAP için dışarıdan ekleme adında yeni bir yerel arama stratejisi önerilmiştir. Bu stratejinin diğer üç komşuluk üreten yaklaşımdan farkı ise kromozomda yer almayan hedefleri de göz önüne alabilmesidir. Diğer üç komşuluk üreten yaklaşımda sadece olası çözümü ifade eden kromozom yapısında yer alan hedeflerin farklı silahlara atanma durumu araştırılabilirken, çalışmada önerilen yaklaşımda problemde olup kromozomda olmayan hedefler de kullanılarak bu kısıtlama aşılabilmektedir. Önerilen dışarıdan ekleme yerel arama yaklaşımında kromozomda olmayan hedefler kromozomda birden fazla yer alan hedeflerin yerine rassal olarak yerleştirilerek yeni kromozomlar üretilmektedir. Her bir iterasyonda ilgili kromozomda tekrarlayan hedef sayısı ile olmayan hedef sayısının çarpımı kadar dışarıdan ekleme stratejisiyle yeni kromozomlar elde edilmiştir. Tablo 4'te dışarıdan ekleme yaklaşımına dair bir örnek verilmiştir.

Tablo 4. Dışarıdan ekleme yaklaşımı

Eski Kromozom	4	5	<u>1</u>	3	<u>1</u>
Yeni Kromozom	4	5	<u>2</u>	3	<u>1</u>

Komşuluk üreten yaklaşımlarda SHAP örneklerinde kromozom uzunluğunu belirleyen silah sayısı n için tüm olası komşuluklar üretilmekte ve bu durumda $n*(n-1)/2$ sayıda yeni komşu kromozom üretilmektedir. Yerel arama sonucunda daha iyi kromozom elde edilebilirse popülasyona dahil edilmektedir.

SHAP için bu çalışmada kullanılan algoritmalar; klasik GA, komşuluk üreten üç yaklaşım ile yerel aramaya dayanan YGA1, dışarıdan ekleme ve komşuluk üreten üç yaklaşımı birlikte kullanan ve tarafımızca önerilen yaklaşım olan YGA2 olmuştur.

3. Bulgular

Çalışmada önerilen yaklaşımların problemde çözüm performanslarını analiz etmek için literatürdeki bazı SHAP örnekleri ve ayrıca

açıklayıcı bir örnek problem (P) kullanılmıştır. SHAP için çalışma kapsamında oluşturulan 5 adet silah tipi ve 5 adet hedeften oluşan sayısal örneğe dair bilgiler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. SHAP sayısal örnek (P)

Silah Hasar Olasılıkları					
Silah Tipleri	Hedefler				
	1	2	3	4	5
1	0.5	0.45	0.4	0.3	0.35
2	0.45	0.4	0.3	0.35	0.5
3	0.4	0.3	0.35	0.5	0.45
4	0.3	0.35	0.5	0.45	0.4
5	0.35	0.5	0.45	0.4	0.3
Hedef Değerleri	6.12	1.02	0.87	1.22	0.94

Öte yandan, Lu vd., (2006) tarafından yapılan çalışmada kullanılan örnek 'L1', Hongtao ve Fengju (2016) tarafından oluşturulan problem 'H1', Sonuc vd., (2017) tarafından kullanılan 11 adet problem ise WT1,..., WT11 adları ile bu çalışmada kullanılmıştır.

Problemler önerilen YGA2, YGA1 ve standart GA ile ayrı ayrı 10'ar kez çözülmüştür. Tüm algoritmalarla ilgili çözümler MATLAB ortamında, Intel(R) Core(TM) i5-3210M CPU @ 2.50GHz, 2501 Mhz, 2 Çekirdek, 4 Mantıksal İşlemciye ve toplamda 8GB Ram'e sahip bilgisayar ortamında elde edilmiştir. Algoritmalarla kullanılan popülasyon büyüklüğü 20 kromozom olurken maksimum iterasyon sayısı 2000 olarak belirlenmiştir. Tüm problemlerin algoritmalarla göre elde edilen çözüm sonuçları Tablo 6'daki gibi gerçekleşmiştir. Tablo 6'da örneklerin bilinen en iyi çözümleri ile algoritmalarla elde edilen en iyi çözümler arasındaki fark yüzdesi sapma oranı olarak ifade edilirken, algoritma çalışma süreleri ise saniye cinsinden aktarılmıştır.

Tablo 6'daki sonuçlara göre tüm algoritmalar P1, L1, H1, WT1 ve WT2 için bilinen en iyi sonuca ulaşabilmişlerdir. YGA1 ve önerilen metot YGA2, ayrıca WT3 için de bilinen en iyi değeri bulabilirken diğer problemlerin hiçbirinde en iyi sonuca ulaşabilen algoritma olmamıştır. Fakat YGA2 algoritması, WT6 örneği dışında tüm problemlerde diğer algoritmalarla eşit veya daha iyi sonuca ulaşabilmiştir. Öte yandan YGA2 ile en fazla % 3.2 sapma oranı elde edilmiş ve bilinen sonuçlara oldukça yakın değerler bulunmuştur. YGA1'de ise maksimum sapma oranı % 9.5 ve GA'da ise % 21.8 olarak gerçekleşmiş ve bu durumda sonuçların kabul edilebilir olarak

düşünülmesi oldukça zordur. Algoritmaların çalışma süreleri bakımından GA oldukça kısa sürede sonuca ulaşabilmekte fakat elde edilen sonuçlar kabul edilmekten uzakta kalmaktadır. YGA1 ve YGA2 süreleri bakımından problemlere göre değişken çalışma zamanlarına sahip olurken genel olarak benzer sürelerde tamamlanmaktadır.

Literatürdeki çalışmalarla algoritma sonuçları birlikte değerlendirildiğinde; Lu vd., (2006) tarafından L1 için ifade edilen optimum değer minimum yönlü model için 0.537'ye tekabül etmekteyken, önerdikleri yöntem olan iyileştirilmiş GA ile tüm denemelerinde bu değere ulaşamadıklarını ifade etmişlerdir. L1 için çalışmada tüm algoritmalarla her bir denemede en iyi sonuca ulaşılabilmiş ve bu açıdan algoritmaların Lu vd., (2006)'ya göre üstünlüğü ortaya konmuştur. Hongtao ve Fengju (2016) tarafından kullanılan H1 için ise minimum yönlü modelde elde edilebilecek optimum değerlere her üç algoritma ile tüm denemelerde ulaşılabilmiştir. Bu durumda çalışmada önerilen yöntemin literatürdeki diğer algoritmalarla yarışabilir düzeyde olduğu ortaya çıkmıştır. Son olarak Sonuc vd., (2017), Kutucu ve Durgut (2018) ve Sonuç (2020) tarafından kullanılan problemlerden WT1, WT2 ve WT3 için önerilen yaklaşım YGA2 ile bilinen en iyi sonuca ulaşılabilmiştir. Problemdeki boyut sayısı büyüdükçe ise optimum değerlere ulaşabilmek mümkün olmamıştır. Sonuç vd., (2017), Kutucu ve Durgut (2018) ve Sonuç (2020) tüm problemlerde çok iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Fakat kullandıkları algoritmaların çözüm yapıları ve sundukları matematiksel modeller incelendiğinde, problemleri her hedefe en az bir tane silah atanacak ve her silah ise en fazla bir

hedefe yönecek şekilde kısıtlayarak basit doğrusal atama modeli olarak çözmüşlerdir. Bu şekilde gerçekte olan çözüm uzayından çok daha küçük bir alanı tarayarak her bir denemede optimum sonuca ulaşabilmişlerdir. Çalışma dahilinde ise bu örnekler sadece SHAP'ta yer alan kısıtlamalar kullanılarak çözülmüş ve bu durumda çözüm uzayı çok daha büyük olmuştur. Bu nedenle önerdikleri algoritmalarla, çalışmadaki SHAP için önerilen algoritmaları karşılaştırmak anlamsız

olacağı için bir kıyaslama mümkün olmamıştır. Bu durumu P1 örneği ile açıklamak gerekirse çalışmada elde edilen çözüm yapısı 1-1-1-4-2 şeklinde, sadece üç hedef içermekte ve iki hedef çözümde bulunmamaktadır. Bu haliyle 4.001 değerine ulaşılabilmiştir. [Sonuç vd., \(2017\)](#), [Kutucu ve Durgut \(2018\)](#) ve [Sonuç \(2020\)](#) tarafından önerilen yaklaşımlarla ise 1-5-4-3-2 yapısına ulaşılabilmekte ve bu durumda daha kötü bir değer olan 5.085 elde edilmektedir.

Tablo 6. Test problemlerinin yöntemlere göre sonuçları

Örnek	Silah	Hedef	Bilinen En İyi Değer	Algoritma	En İyi Değer	Sapma Oranı (%)	Ortalama Değer	En Kötü Değer	Süre
P1	5	5	4.001	GA	4.001	0	4.001	4.001	12
				YGA1	4.001	0	4.001	4.001	21
				YGA2	4.001	0	4.001	4.001	30
L1	11	7	0.537	GA	0.537	0	0.537	0.537	14
				YGA1	0.537	0	0.537	0.537	73
				YGA2	0.537	0	0.537	0.537	76
H1	7	10	0.325	GA	0.325	0	0.325	0.325	8
				YGA1	0.325	0	0.325	0.325	34
				YGA2	0.325	0	0.325	0.325	32
WT1	5	5	48.364	GA	48.364	0	48.364	48.364	9
				YGA1	48.364	0	48.364	48.364	17
				YGA2	48.364	0	48.364	48.364	27
WT2	10	10	96.312	GA	96.312	0	99.707	105.601	11
				YGA1	96.312	0	96.312	96.312	63
				YGA2	96.312	0	96.312	96.312	58
WT3	20	20	142.107	GA	146.888	0.033	151.374	159.023	11
				YGA1	142.107	0	143.208	148.35	206
				YGA2	142.107	0	142.449	142.815	170
WT4	30	30	248.029	GA	257.893	0.038	264.7574	274.0722	11
				YGA1	248.422	0.002	250.8647	259.2695	496
				YGA2	248.331	0.001	250.2192	251.9293	438
WT5	40	40	305.502	GA	327.226	0.066	336.4	344.953	15
				YGA1	307.018	0.005	311.547	325.318	1012
				YGA2	306.7	0.004	309.464	316.65	815
WT6	50	50	353.01	GA	384.309	0.081	405.695	417.366	19
				YGA1	357.294	0.012	369.199	387.951	1809
				YGA2	358.5	0.015	360.739	364.66	1408
WT7	60	60	414.222	GA	472.281	0.123	492.004	532.345	21
				YGA1	422.1	0.019	441.644	452.61	2347
				YGA2	419.05	0.012	422.577	425.63	2317
WT8	70	70	496.31	GA	565.529	0.122	600.446	637.407	19
				YGA1	509.8	0.027	535.389	556.47	4474
				YGA2	506.07	0.019	510.602	516.07	3627
WT9	80	80	531.159	GA	644.305	0.176	658.716	678.804	21
				YGA1	556.3	0.045	572.279	598.25	6116
				YGA2	545.54	0.026	550.889	555.1	5137
WT10	90	90	589.321	GA	726.559	0.189	760.41	790.408	26

				YGA1	623.2	0.054	659.564	682.83	8770
				YGA2	606.16	0.028	609.63	615.28	6863
WT11	100	100	694.501	GA	887.683	0.218	910.262	953.096	28
				YGA1	767.61	0.095	769.348	774.56	11843
				YGA2	717.69	0.032	718.938	722.68	10398

4. Tartışma ve sonuçlar

SHAP, çok farklı alanlarda kullanılan bir temel matematiksel model olmakla birlikte en çok askeri alanda uygulamalarına rastlanan doğrusal olmayan fonksiyonlara sahip bir problemdir. Problem kesin çözüm veren yöntemlerle çözülmeye çalışıldığında oldukça etkisiz sonuçlar elde edilmekte ve modelin boyutu büyüdükçe bu durum daha da net hale gelmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmalarda, yaklaşık iyi çözümler üreten sezgisel yöntemlere genellikle başvurulmaktadır. GA ise sezgisel yöntemler içerisinde problemlere kolay adapte olabilen ve yüksek performansa sahip yapısıyla bilinmektedir. Öte yandan yerel arama ile desteklenen melez GA'larda başarımlar anlamlı biçimde artmaktadır. Problemlere özgü iyileştirmeler ise melez GA gibi yöntemlerin başarısını daha da artırmaktadır.

Çalışma kapsamında geliştirilen YGA2, klasik komşuluk üretmeye dayalı yerel arama yaklaşımı içeren YGA1'e nazaran çözüm yapısında bulunmayan hedefleri çözüme ekleyebilme seçeneği ile SHAP için daha uygun yerel arama stratejisine sahiptir. Örnek problemlerin çözümünde YGA2 yaklaşımı standart GA'dan ve YGA1'den daha iyi sonuçlar üretirken ek olarak literatürdeki algoritmalarla da rekabet edebilir olduğunu göstermiştir. Gelecekteki yapılacak çalışmaların probleme özel, algoritma aşamalarında geliştirilecek özgün yaklaşımlarla problemin çözüm performansında daha yüksek başarımları sağlayabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Ahuja, R. K., Kumar, A., Jha, K. C. and Orlin, J. B. (2007). Exact and heuristic algorithms for the weapon-target assignment problem. *Operations Research*, 55(6), 1136-1146. <https://doi.org/10.1287/opre.1070.0440>.
- Cetin, E. and Esen, S. T. (2006). A weapon-target assignment approach to media allocation. *Applied Mathematics and Computation*, 175(2), 1266-1275. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2005.08.041>.
- Chang, T., Kong, D., Hao, N., Xu, K. and Yang, G. (2018). Solving the dynamic weapon target assignment problem by an improved artificial

bee colony algorithm with heuristic factor initialization. *Applied Soft Computing*, 70, 845-863. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.06.014>.

- Fu, T. P., Liu, Y. S., and Chen, J. H. (2006). Improved genetic and ant colony optimization algorithm for regional air defense wta problem. *First International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICIC'06)* (ss. 226-229). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIC.2006.99>.
- Hocaoglu, M. F. (2019). Weapon target assignment optimization for land based multi-air defense systems: A goal programming approach. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 681-689. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.015>.
- Hoff, A., Løkketangen, A. and Mittet, I. (1996). Genetic algorithms for 0/1 multidimensional knapsack problems, *Proceedings Norsk Informatikk Konferanse (NIK'96)* (ss. 291-301). Brietvien.
- Holland J, H. (1975). *Adaptation İn Natural And Artificial Systems*. (Vol 1). Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Hongtao, L. and Fengju, K. (2016). Adaptive chaos parallel clonal selection algorithm for objective optimization in WTA application. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 127(6), 3459-3465. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.12.122>.
- Hu, X., Luo, P., Zhang, X. and Wang, J. (2018). Improved ant colony optimization for weapon-target assignment. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2018/6481635>.
- Kline, A., Ahner, D. and Hill, R. (2019). The weapon-target assignment problem. *Computers & Operations Research*, 105, 226-236. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.10.015>
- Kutucu, H. ve Durgut, R. (2018). Silah hedef atama problemi için tavlama benzetimli bir hibrit yapay arı kolonisi algoritması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, Özel Sayı, 263-269. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.39561>.
- Lee, Z. J., Lee, C. and Su, S. F. (2002). An immunity-based ant colony optimization algorithm for solving weapon-target assignment problem. *Applied Soft Computing*, 2(1), 39-47. [https://doi.org/10.1016/S1568-4946\(02\)00027-3](https://doi.org/10.1016/S1568-4946(02)00027-3)

- Lee, Z. J., Su, S. F. And Lee, C. Y. (2003). Efficiently solving general weapon-target assignment problem by genetic algorithms with greedy eugenics. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 33(1), 113-121. <https://doi.org/10.1109/TSMCB.2003.808174>.
- Li, Y., Kou, Y., Li, Z., Xu, A. and Chang, Y. (2017). A modified pareto ant colony optimization approach to solve biobjective weapon-target assignment problem. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2017. 1-14. <https://doi.org/10.1155/2017/1746124>
- Li, X., Zhou, D., Pan, Q., Tang, Y. and Huang, J. (2018). Weapon-target assignment problem by multiobjective evolutionary algorithm based on decomposition. *Complexity*, 2018. 1-19. <https://doi.org/10.1155/2018/8623051>.
- Lu, H., Zhang, H., Zhang, X. and Han, R. (2006). An improved genetic algorithm for target assignment, optimization of naval fleet air defense. 6th World Congress on Intelligent Control and Automation (ss. 3401-3405). IEEE. Dalian.
- Manne, A. S., 1958. A target-assignment problem. *Operations Research*, 6(3), 346-351. <https://doi.org/10.1287/opre.6.3.346>.
- Sonuc, E., Sen, B. and Bayır, S. (2017). A parallel simulated annealing algorithm for weapon-target assignment problem. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(4), 87-92.
- Sonuç, E. (2020). A modified crow search algorithm for the weapon-target assignment problem. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA)*, 10(2), 188-197. <https://doi.org/10.11121/ijocta.01.2020.00775>.
- Wang, C., Fu, G., Zhang, D., Wang, H. and Zhao, J. (2019). Genetic algorithm-based variable value control method for solving the ground target attacking weapon-target allocation problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2019/6761073>
- Yang, S., Yang, M., Wang, S. and Huang, K. (2016). Adaptive immune genetic algorithm for weapon system portfolio optimization in military big data environment. *Cluster Computing*, 19(3), 1359-1372. <https://doi.org/10.1007/s10586-016-0596-3>.
- Yanxia, W., Longjun, Q., Zhi, G. and Lifeng, M. (2008). Weapon target assignment problem satisfying expected damage probabilities based on ant colony algorithm. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 19(5), 939-944. [https://doi.org/10.1016/S1004-4132\(08\)60179-6](https://doi.org/10.1016/S1004-4132(08)60179-6).
- Zeng, X., Zhu, Y., Nan, L., Hu, K., Niu, B. and He, X. (2006). Solving weapon-target assignment problem using discrete particle swarm optimization. 6th World Congress on Intelligent Control and Automation (ss. 3562-3565). IEEE. Dalian.
- Zhou, Y., Li, X., Zhu, Y. and Wang, W. (2016). A discrete particle swarm optimization algorithm applied in constrained static weapon-target assignment problem. 12th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA) (ss.3118-3123). IEEE. Guilin.

Stackoverflow gönderilerinde tartışılan trend konuların kelime frekans analizi ile belirlenmesi

Identification of trend topics discussed in stackoverflow posts by word frequency analysis

Fatih GÜRCAN*^{1,a}, Özcan ÖZYURT ^{2,b}

¹ Karedeniz Teknik Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi, 61080, Trabzon

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, 61830, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 15.10.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 02.02.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 09.02.2021

Öz

Günümüzde yazılım geliştiriciler ve bilgisayar bilimciler sıklıkla çevrimiçi bilgi paylaşım platformlarını kullanmaktadır. StackOverflow bu platformların başında gelmektedir. Bu ortamda paylaşılan bilgilerin analizi güncel konu ve eğilimlerin belirlenmesinde önemli çıkarımlar sunabilir. Bu bağlamda yürütülen çalışmada 2019 yılı içerisinde StackOverflow platformu üzerinde paylaşılan gönderilere ait etiketlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Kelime frekans analizine dayalı metinsel içerik analizinin yapıldığı bu çalışmada, StackOverflow gönderilerinde kullanılan etiketlerle bir veri seti oluşturulmuş ve bu etiketler içerisinde en çok kullanılanlar, ivmesi artan ve azalan etiketler analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda elde edilen etiketlerden en çok kullanılan elli etiket üzerinden detaylı sonuçlar verilmiştir. En çok kullanılan bu 50 etiketin altı sınıf altında kümelendiği görülmüştür. Çalışmanın sonuçlarına dayanarak başta yenilikçi web, mobil ve ilişkisel olmayan veri tabanı teknolojileri olmak üzere güncel teknolojilerin genel olarak sık kullanıldığı ve ivmelerinin arttığı söylenebilir. Bunun yanında programlama dilleri, araçları ve kütüphanelerinde Python odaklı güçlü bir eğilimin olduğu açıktır. Çalışmanın sonuçlarının başta yazılım geliştiriciler ve bu alanda eğitim alan ve kariyerini bu alanda planlayan bireyler olmak üzere, müfredat yapımcılar ve karar vericilere önemli bilgiler sunması beklenmektedir.

Anahtar kelimeler: Kelime frekans analizi, Soru ve cevap forumları, StackOverflow gönderileri, Trend konular.

Abstract

Today, software developers and computer scientists frequently use online information sharing platforms. StackOverflow is one of these important platforms. The analysis of the information shared in this environment can offer important implications in revealing current issues and trends. In this context, it is aimed to examine the tags of the posts shared on the StackOverflow platform in 2019. In this study, in which textual content analysis based on word frequency analysis was made, a data set was created with the tags used in StackOverflow posts, and the most used tags among these tags, whose acceleration increased and decreased, were analyzed. Detailed results were given on the fifty most used tags among the tags obtained as a result of this analysis. It has been observed that these 50 most used tags are clustered under six classes. Based on the results of the study, it can be said that current technologies, especially innovative web, mobile and non-relational database technologies, are generally used frequently and their acceleration has increased. In addition, it is clear that there is a strong Python-oriented trend in programming languages, tools and libraries. The results of the study are expected to provide important information to curriculum makers and decision-makers, especially software developers and individuals who have received training in this field and plan their career in this field.

Keywords: Word frequency analysis, Question and answer forums, StackOverflow posts, Trend topics.

*a Fatih GÜRCAN; fgurcan@ktu.edu.tr, Tel: (0505) 536 55 62, orcid.org/0000-0001-9915-6686

^b orcid.org/0000-0002-0047-6813

1. Giriş

Bilişim teknolojilerinin hızla geliştiği ve değiştiği günümüzde, bilgisayar bilimcileri ve yazılım geliştiricileri de bu değişime ayak uydurma adına sürekli öğrenme ve bilgi paylaşımı içerisine girmektedir. Son yıllarda bilgiye erişimin ve bilgi paylaşımının arttığı göz önünde bulundurulduğunda (Bakır vd., 2020), sosyal medya başta olmak üzere, özel amaçlı geliştirilen ortak çalışma siteleri bu amaçla etkin bir biçimde kullanılmaktadır (Johri ve Bansal, 2018). Bu platformlar, giderek artan veri ve bilgi kaynağı olması bakımından aynı zamanda birer öğrenme ortamı olarak da değerlendirilebilir (Ahmed ve Srivastava, 2017; Özyurt ve Özyurt, 2010). Araştırmacılar ya da geliştiriciler yeni bir konu hakkında bilgi edinmeye veya karşılaştıkları bir problemin çözümünde yeni bilgilere ihtiyaç duyduklarında bu platformları sıklıkla tercih etmektedirler (Joorabchi vd., 2016). Diğer yandan, sürekli değişen ve gelişen teknolojiye ayak uydurmak için geliştiriciler bu platformları kullanarak bilgi alanlarını paylaşmakta ve daha az bilgi sahibi oldukları alanlarda diğer geliştiricilerden yardım istemektedirler (Johri ve Bansal, 2018; Özyurt ve Özyurt, 2010).

Son yıllarda topluluk temelli Soru ve Cevap (SvC) forumlarının popülaritesi gittikçe artmıştır (Ahmed ve Srivastava, 2017; Barua vd., 2016; Joorabchi vd., 2016). Bu forumlar bilgiyi paylaşmak için mükemmel bir fırsat sunmanın yanı sıra öğrenme için de ideal bir ortam sağlarlar (Ahmed ve Srivastava, 2017). Bilişim alanında farklı SvC forumları olmakla birlikte StackOverflow bu alanda önde gelen platformlar arasında yer almakta ve teknik konularda fikir paylaşımı yapmak için en iyi forumlardan biri olarak kabul edilmektedir (Ahmed ve Srivastava, 2017; Barua vd., 2016; Johri ve Bansal, 2018; Yang vd., 2016; Zhang ve Zhu, 2018). Günümüzün dinamik, yenilikçi ve tamamen yetkin işgücüne dayanan yazılım endüstrisinde güncel bilgi, beceri ve teknolojik araçlara olan eğilimler büyük bir hızla değişmekte ve gelişmektedir (Gürcan, 2019; Gürcan ve Köse, 2017). Bu nedenle, dinamik ve rekabetçi iş ortamlarına sahip yazılım endüstrisi içerisinde önemli bir role sahip olan bilgisayar bilimciler ve yazılım geliştiriciler bilgi, beceri ve farklı uzmanlık alanlarına ilişkin yetkinliklerini sürekli olarak güncel tutmak zorundadırlar (Gürcan ve Şevik, 2019). Yazılım endüstrisindeki güncel temalar ve teknolojik trendlere ilişkin önemli bir bilgi kaynağı olarak görülen StackOverflow son zamanlarda yazılım geliştiriciler tarafından oldukça yoğun ilgi gören bir bilgi paylaşımı ve çevrimiçi öğrenme platformuna dönüşmüştür

(Barua vd., 2016). Yazılım geliştiriciler StackOverflow üzerinde kendi aralarında çok çeşitli teknik konuları tartışabilir, bilgi paylaşabilir ve böylelikle alana özgü güncel trendleri yakından takip edebilirler. Bu kişilerin, üzerinde tartıştıkları konuların anlaşılması, programlama dilleri ve yazılım araçlarına ilişkin olarak yazılım geliştiricilerin tercihlerinin ve eğilimlerinin belirlenmesi ve bilgi içeriklerine dair kullanım alışkanlıklarının ortaya koyulabilmesi amacıyla bu platformda paylaşılan bilgilerin analiz edilmesi önemli çıkarımlar sağlayabilir. Nitekim bu ortamdaki paylaşılan verilerin analiz edilmesi, gerek öğrenci ve öğretmenler, gerek başlangıç düzeyindeki geliştiriciler, gerekse de deneyimli geliştiriciler gibi farklı bilgi düzeyine sahip kullanıcıların karşılaştıkları teknik problemlerle ilgili de ilginç bilgiler ortaya çıkarabilmektedir.

SvC platformları üzerindeki verilerle yapılacak olan analizlerin önemi ortada olmakla birlikte, bu platform üzerindeki verilerin büyüklüğü, manuel analiz yapmayı zorlaştırmaktadır (Johri ve Bansal, 2018; Yang vd., 2016). Bu bağlamda bu tür analizler için doğal dil işleme ve metinsel veri madenciliği tekniklerinden faydalanılabilir. Nitekim, bir çok uygulama alanında başarıyla uygulanmış olan bir dizi metin madenciliği ve görselleştirme yöntemleri, bu tür SvC platformlarının içerdiği verileri analiz etme sürecinde de etkin olarak kullanıldığı rahatlıkla söylenebilir (Aggarwal ve Zhai, 2012; Joorabchi vd., 2016). Çevrimiçi etkileşime dayalı bu tür platformlardaki kullanıcı paylaşımlarından oluşan büyük hacimli verilerin analizinde, kelime frekans analizi, metin sınıflandırma yaklaşımları, konu modelleme analizi, kümeleme analizi, metin özetleme, duygu analizi, n-gram analizi gibi metin analizi yöntemleri yoğun olarak kullanılmaktadır (Aggarwal ve Zhai, 2012). Özellikle kelime frekans analizine dayalı metinsel içerik analizleri metin madenciliği ve doğal dil işleme uygulamalarında temel bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Lijffijt, Papapetrou, Puolamäki ve Mannila, 2011).

1.1. İlişkili çalışmalar

Literatürde StackOverflow üzerinde paylaşılan verilerin analizini konu alan farklı kapsamlardaki çalışmalardan söz etmek mümkündür. Nitekim StackOverflow verilerini kullanarak uzman davranışlarını tanımlamak, geliştiricilerde davranışsal temaları tespit etmek, etiketleri analiz etmek ve tavsiye etmek, katılımı oyunlaştırmak ve soruların durumunu tahmin etmek gibi farklı çalışmaların yapıldığı bilinmektedir (Ahmed ve

Srivastava, 2017; Cavusoglu ve Huang, 2015; Correa ve Sureka, 2013; Murgia vd., 2014; Nasehi vd., 2012; Pal vd., 2012; Xia vd., 2013). Bunların yanında doğrudan yazılım geliştiriciler ve programcılar için teknik tartışmalar üzerine yapılan metinsel içerik analizlerine dayalı çalışmalardan da söz edilebilir.

Barua vd. (2014) çalışmalarında, yazılım geliştiricilerin teknik paylaşımları ve tartışmalarına dair ana temaları ve eğilimleri otomatik olarak keşfetmek için istatistiksel konu modelleme tekniğine dayalı bir yöntem bilim kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçları göstermiştir ki, geliştiricilerin ilgilendiği konular, işlerden sürüm kontrol sistemlerine ve C # sözdizimine kadar geniş bir yelpazede yer almaktadır; bazı konulardaki sorular diğer konulardaki tartışmalara yol açar; ve zaman içinde en popüler hale gelen konular web geliştirme (özellikle jQuery), mobil uygulamalar (özellikle Android), Git ve MySQL' dir (Barua vd., 2014). Johri ve Bansal (2018) yaptıkları çalışmada, StackOverflow platformu üzerinde paylaşılan metin verileri üzerinde konu modelleme yaklaşımını kullanarak bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonuçları, bu bağlamda gerçekleştirilen içerik analizlerinin geliştirici tartışmalarında trend konuların keşfedilmesine yardımcı olduğunu göstermiştir. Sonuçlar, web sitesi tasarımı/css'nin en etkili konu olduğunu göstermiştir. Veri analizi/görselleştirme ve mobil uygulama geliştirme gündemdeki konulardır ve popülerliği artmaktadır, nesneye dayalı programlama ve kodlama stili/uygulaması zamanla azalmıştır. Öte yandan, kimlik doğrulama/güvenlik ve UI geliştirme gibi konular zaman içinde istikrarlı eğilimler göstermiştir. Ayrıca, veri analizi/görselleştirme konusunda R ve Python hâkim, Oracle ve MySQL en popüler veri tabanı platformu, Python en etkili kodlama dili olarak ortaya çıkmıştır (Johri ve Bansal, 2018). Gürcan ve Özyurt (2019) çalışmalarında, Türk yazılım endüstrisindeki iş ilanlarını analiz ederek programlama dilleri ve araçları için ortaya çıkan eğilimleri tespit etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre, Türk yazılım endüstrisinde en çok talep gören ilk beş programlama dili sırasıyla Javascript, Html, Css, Java ve Php olarak ortaya çıkmıştır. En çok talep gören veri tabanları ise SQL, MySQL, Oracle, MsSQL ve MongoDB olarak elde edilmiştir. Benzer bir çalışmada ise Gürcan ve Şevik (2019) farklı ülkeleri kapsayan iş ilanlarını analiz ederek yazılım endüstrisindeki yurtdışı odaklı eğilimleri ve teknik becerileri ortaya koyan bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmanın sonuçları yazılım endüstrisinde ihtiyaç duyulan güncel iş unvanlarını

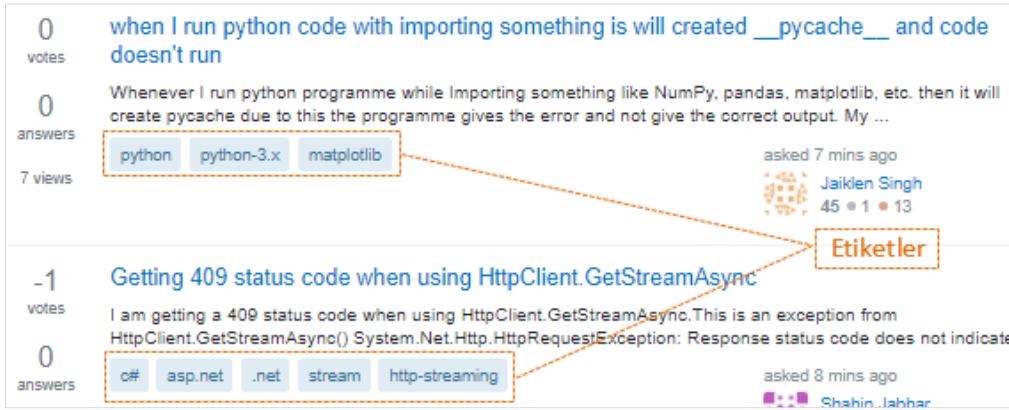
ve bunlara ait bilgi ve becerileri ortaya koymuştur. Çalışmanın sonuçlarına göre, yazılım geliştirme araçları içerisinde Python, Java, Javascript, C# ve C++ programlama dillerinin baskın bir şekilde ortaya çıktığı söylenebilir (Gürcan ve Şevik, 2019). Yang vd. (2016), StackOverflow üzerindeki güvenlikle ilgili sorularla büyük ölçekli bir çalışma yürütmüşlerdir. Metinlerine dayalı olarak güvenlikle ilgili farklı soruları kümelemek için konu modelleme yöntemini kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre güvenlikle ilgili şu beş ana kategori ortaya çıkmıştır: web güvenliği, mobil güvenlik, şifreleme, yazılım güvenliği ve sistem güvenliği. Rosen ve Shihab (2016) çalışmalarında mobil geliştiricilerin StackOverflow üzerindeki mobil uygulamalar ile ilgili paylaşımlarını özetlemek için konu modelleme yöntemine dayalı bir içerik analizi yapmışlardır. Çalışmanın sonuçları göstermiştir ki; geliştiriciler yoğun olarak uygulama dağıtımı, mobil API'ler, veri yönetimi, sensörler ve bağlam, mobil araçlar ve kullanıcı ara yüzü geliştirme konularında gönderi paylaşmışlardır. Başka bir çalışmada ise, Zhang ve Zhu (2018) konu modelleme yaklaşımını kullanarak StackOverflow üzerinde bir içerik analizi yürütmüşlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre en yoğun paylaşımın yapıldığı konu olarak Java, kullanıcılardan gelen sorularda en sık geçen favori kelimeler olarak da JavaScript ve C programlama dilleri ön plana çıkmıştır.

Sürekli değişen ve gelişen yazılım teknolojilerine ilişkin güncel eğilimlerin takip edilmesi ve bu bağlamda farklı çalışmaların yapılması alana özgü değişim ve gelişimin betimlenmesi açısından önemlidir. Bu açıdan StackOverflow üzerinde yapılan tartışmalardaki konular yazılım teknolojileri ve programlama dillerine ilişkin güncel teknolojileri ve eğilimleri belirlemede yardımcı olabilir. Nitekim StackOverflow bilişim alanında uluslararası platformda en çok tercih edilen SvC platformu olarak kabul edilmektedir (Zhang ve Zhu, 2018; Gürcan ve Köse, 2017). Bu platform üzerinde yürütülen paylaşımlar ve bu paylaşımlara ilişkin gönderilerde kullanılan etiketlerin analizi, yazılım teknolojileriyle ilgili güncel eğilimler hakkında önemli çıkarımlar ve öngörüler sağlayabilir. Benzer bir bakış açısıyla yürütülen bu çalışmada StackOverflow üzerinde 2019 yılını kapsayan paylaşımlar dikkate alınarak, bu gönderiler üzerinde kelime frekanslarının dağılımına dayalı metinsel içerik analizi ile yazılım endüstrisindeki güncel tema ve eğilimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Yöntem

Bu çalışma, StackOverflow'daki gönderilere kullanıcı tarafından atanan ve gönderinin ilgili olduğu konuları yansıtan etiketleri kelime frekans analizi yöntemiyle analiz ederek yazılım geliştiricilerin en çok yoğunlaştığı tartışma konularını ortaya koymayı amaçlamaktadır. StackOverflow, kullanıcıların yeni sorular sorma ve mevcut soruları yanıtlama, ayrıca gönderinin algılanan değerine göre soruları ve yanıtları yukarı veya aşağı "oylama" becerisine sahiptir. StackOverflow gönderilerinde soruyu soran kullanıcı sorduğu soruyla ilgili etiketleri listeden

seçerek soruya ekler ve soru bu etiketlerle ilgili kategorilere atanır. Bu şekilde soruyu paylaşan kullanıcı bir soruya en fazla beş etiket ekleyebilir. Böylelikle sistemde önceden tanımlanmış ve kullanıcı tarafından soruya eklenen bu etiketler sayesinde sisteme eklenen her bir sorunun ilgili olduğu ana tartışma kategorileri belirlenir. Örnek olarak, Şekil 1'de iki adet gönderinin ekran görüntüsü verilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi ilk sorunun etiketleri soruyu soran kullanıcı tarafından "Python", "Python-3.x", "Matplotlib" olarak atanmıştır. Şekildeki ikinci sorunun etiketleri ise "C#", "Asp.net", ".Net", "Stream", "Http-streaming" olarak atanmıştır.



Şekil 1. StackOverflow web sitesinde paylaşılan gönderilere ilişkin örnek görünüm

Bu çalışmada StackOverflow üzerinde 1 Ocak 2019 – 31 Aralık 2019 tarihleri arasında paylaşılan gönderilerin oluşturduğu bir yıllık veri çekilmiş ve bu verilerle deneysel veri seti oluşturulmuştur. Veri çekim işlemi Mayıs 2020'de StackExchange tarafından sağlanan API (Stack Exchange API, 2020) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, ilgili API her bir ay için ayrı ayrı çalıştırılmış ve bunun sonucunda 2019 yılına ait gönderileri içeren 12 aylık bir veri seti oluşturulmuştur. Veri seti oluşturulduktan sonra veriler içerisinden sadece her bir gönderiye ait etiketlerin yer aldığı ayrı bir veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan bu veri seti 42727 tekil etiket içermekte olup toplamda ise 5545951 etiket içermektedir. Daha sonra, etiketlerle oluşturulan bu veri seti üzerinde etiketlerin aylık frekansları hesaplanarak kelime frekans analizi yöntemine dayalı bir metinsel içerik analizi gerçekleştirilmiştir (Gürcan, 2009). Kelime frekans analizi veri madenciliğinde kullanılan, önemli yöntemlerden birisidir (Gürcan, 2018; Lijffijt vd., 2011). Herhangi bir belgedeki kelime frekanslarının belirlenmesi, metnin ana temalarının ve metnin anlamsal olarak içerdiği kelime öbeklerinin ortaya konulması bakımından çoğu

zaman güçlü çıkarımların elde edilmesine olanak sağlar (Gürcan, 2009; Rajput, Ahuja, ve Riyal, 2019).

3. Bulgular

Bu bölümde mevcut çalışma kapsamında elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Kelime frekans analizine göre, StackOverflow üzerinde 2019 yılındaki gönderilerden elde edilen verilere ilişkin detaylı bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi StackOverflow üzerinde 2019 yılındaki gönderilerde toplam 5545951 etiket kullanılmış olup bu etiketler içerisindeki tekil (tekrar etmeyen) etiket sayısı 42727 olarak hesaplanmıştır. En çok kullanılan ilk 20 etiketin toplam etiket sayısına oranı %28.22 olarak elde edilmişken en çok kullanılan ilk 50 etiketin toplam etiket sayısına oranı ise %39.24 olarak elde edilmiştir. Diğer bir ifade ile 42727 tekil etiketten ilk 20 tanesi toplam etiket sayısının yaklaşık %30'unu temsil ederken, ilk 50 tanesi toplam etiket sayısının yaklaşık %40'ını ve ilk 100 tanesi ise toplam etiket sayısının yaklaşık %50'sini temsil etmektedir.

Tablo 1. StackOverflow gönderilerinden elde edilen 2019 yılı etiket verilerine ilişkin bilgiler

Kategoriler	Veriler
Tekil etiket sayısı	42727
Toplam etiket sayısı	5545951
Aylık ortalama etiket sayısı	462163
En çok kullanılan ilk 20 etiketin toplam sayısı	1564823
En çok kullanılan ilk 20 etiketin toplam etiket sayısına oranı	%28.22
En çok kullanılan ilk 50 etiketin toplam sayısı	2175966
En çok kullanılan ilk 50 etiketin toplam etiket sayısına oranı	%39.24
En çok kullanılan ilk 100 etiketin toplam sayısı	2628544
En çok kullanılan ilk 100 etiketin toplam etiket sayısına oranı	%47.40
Sadece 1 defa kullanılmış tekil etiket sayısı	6739
En fazla 5 defa kullanılmış tekil etiket sayısı	18852
İvmesi artan tekil etiket sayısı	2837
İvmesi azalan tekil etiket sayısı	1513
En fazla kullanılan ilk üç etiket (Sıralı)	Python, Javascript, Java
İvmesi en çok artan ilk üç etiket (Sıralı)	Python, Reactjs, Flutter
İvmesi en çok azalan ilk üç etiket (Sıralı)	Php, C#, JQuery

Tablo 2 ve tablo 3'te sırasıyla toplam etiket ve tekil etiket sayılarının aylara göre dağılımları verilmiştir. Tablo 2'de görüldüğü gibi aylık etiket sayıları genel olarak dengeli ve ortalama değere (462163) yakın olmakla birlikte Ekim ve Kasım aylarında bir miktar artış olduğu söylenebilir.

Tablo 2. Toplam etiket sayısının aylara göre dağılımı

Aylar	N
Ocak	422795
Şubat	409909
Mart	465928
Nisan	430527
Mayıs	478853
Haziran	455790
Temmuz	495907
Ağustos	454064
Eylül	451992
Ekim	515057
Kasım	501580
Aralık	463549
Toplam	5545951

Tablo 3'de görüldüğü gibi toplam 42727 olan farklı etiket sayısının her bir aydaki dağılımı birbirine yakın değerler olarak elde edilmiştir. Örneğin 42727 tekil etiketten Ocak ayında kullanılan tekil etiket sayısı 20510 iken Şubat ayında bu sayı 20358, Aralık ayında ise 22190 olarak elde edilmiştir.

Tablo 4'te, StackOverflow üzerinde 2019 yılı boyunca paylaşılan gönderilerde en çok kullanılan ilk 50 etiketin aylara göre dağılımı ve bu etiketlerin toplam sayısı sıralı bir biçimde verilmiştir.

Tablo 3. Tekil etiket sayısının aylara göre dağılımı

Aylar	N
Ocak	20510
Şubat	20358
Mart	21446
Nisan	20421
Mayıs	21899
Haziran	21749
Temmuz	22439
Ağustos	21771
Eylül	21710
Ekim	22810
Kasım	22811
Aralık	22190

Tablo 4'te görüldüğü gibi, gönderilerde en çok geçen etiket Python (n=236569) iken bunu Javascript ile Java takip etmektedir. Gönderilerde en çok kullanılan etiket olan Python'un (n=236569) toplam etiket sayısına (n=5545951) oranı da %4.27 olarak elde edilmiştir. Her bir etiketin artış/azalış oranı (ivmesi) ise bu tablonun son sütununda verilmiştir. İvme hesaplanırken aylık artış/azalış miktarı dikkate alınarak 12 aylık ortalama değeri hesaplanmıştır. Her bir etiket için ilgili ayın toplam sayısından bir önceki ayın toplam sayısı çıkarılarak toplamda 11 adet ivme değeri hesaplanmıştır. Daha sonra, bu 11 değerlerin ortalaması alınarak her bir etiket için ortalama bir ivme değeri hesaplanmıştır. Pozitif ivme değerleri o etikete olan ilginin arttığını, negatif ivme değerleri ise o etikete olan ilginin zamanla azaldığını gösterir. Buna göre, gönderilerde en çok kullanılan Python etiketi için ivme %4.53 olarak elde edilmiştir.

Tablo 4. Gönderilerde en çok geçen ilk 50 etikete ilişkin veriler

Etiketler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam	Toplam (%)	İvme (%)
Python	16436	16826	19686	19292	20206	19355	21388	19706	18441	22624	22478	20131	236569	4.27	4.53
Javascript	15553	15040	17126	15773	17172	16494	17663	16702	16233	17806	17327	16043	198932	3.59	0.6
Java	10761	10649	11958	10943	12089	10999	12055	10256	10899	12716	11590	10387	135302	2.44	-0.46
C#	8519	8036	8894	8914	9577	8433	9163	8334	8500	9145	8634	7809	103958	1.87	-0.87
Android	7338	7027	7822	7063	8063	8292	9437	7929	7812	8503	7939	7396	94621	1.71	0.07
Php	7060	7125	7787	7147	7652	6816	7349	6368	6213	6816	6717	5961	83011	1.50	-1.35
Htm1	6404	6183	7270	6556	6945	6556	7339	6434	6222	6978	6820	6490	80197	1.45	0.11
Python-3.x	4562	4368	5099	5524	5644	5433	6387	5963	5532	6422	5810	5219	65963	1.19	0.81
Reactjs	4327	4314	4979	4525	5321	5042	5629	5397	5422	6060	5983	5780	62779	1.13	1.78
Angular	4229	4200	4699	4155	4653	4532	4694	4237	4363	4721	4700	4119	53302	0.96	-0.13
Node.js	3974	3742	4240	4121	4748	4613	4947	4512	4415	4790	4748	4389	53239	0.96	0.51
R	3802	4060	4456	4486	4647	4473	4631	4377	4292	4968	4628	4159	52979	0.96	0.44
Css	4328	4153	4709	4174	4421	4110	4607	4331	4119	4509	4225	3995	51681	0.93	-0.41
C++	3782	3619	4369	4324	4281	3883	4452	3411	3979	5138	4933	4505	50676	0.91	0.89
Sql	3897	4011	4575	4151	4130	3727	4179	3675	3996	4500	4438	4042	49321	0.89	0.18
Mysql	3378	3354	3886	3455	3552	3079	3443	3014	2971	3483	3553	3059	40227	0.73	-0.39
Jquery	3488	3276	3687	3448	3570	3273	3717	3186	3169	3317	3136	2927	40194	0.72	-0.69
Pandas	2712	2822	3217	3116	3256	3152	3586	3561	3161	3942	3703	3527	39755	0.72	1.00
Swift	2844	2605	2905	3027	3321	3463	3400	2818	2760	3337	3124	2940	36544	0.66	0.12
IOS	2855	2608	2867	2758	3115	3021	3148	2725	2896	3544	3167	2869	35573	0.64	0.02
Arrays	2376	2483	2874	2495	2660	2334	2477	2191	2427	2934	2972	2686	30909	0.56	0.38
Django	2176	2186	2516	2458	2597	2426	2743	2624	2578	2686	2821	2628	30439	0.55	0.55
Typescript	2245	2299	2400	2370	2565	2532	2711	2482	2499	2710	2844	2612	30269	0.55	0.45
Json	2138	2213	2615	2380	2530	2457	2619	2333	2233	2538	2576	2292	28924	0.52	0.19
Laravel	2213	2051	2333	2250	2402	2273	2590	2431	2564	2672	2621	2422	28822	0.52	0.26
Excel	2405	2184	2559	2132	2638	2586	2757	2423	2305	2404	2374	1996	28763	0.52	-0.5
Sql-server	2231	2264	2350	2290	2278	2095	2222	2119	2042	2219	2222	1898	26230	0.47	-0.41
C	2220	1999	2344	2411	2185	1804	1787	1575	2056	2572	2552	2258	25763	0.46	0.05
Spring-boot	1682	1628	1863	1679	1971	1881	2117	1974	1938	2250	2103	1875	22961	0.41	0.24
React-native	1692	1628	1724	1620	1755	1889	2120	2110	1955	2194	2087	1897	22671	0.41	0.25
Vba	1869	1672	2030	1741	2036	2055	2188	1940	1763	1803	1701	1398	22196	0.40	-0.58
Flutter	1292	1235	1391	1369	1692	1615	1932	2050	2053	2095	2016	2359	21099	0.38	1.31
Vue.js	1389	1319	1595	1438	1548	1658	1731	1777	1749	1921	1708	1787	19620	0.35	0.49
Firebase	1636	1549	1692	1541	1670	1599	1703	1657	1533	1696	1687	1538	19501	0.35	-0.12
Docker	1521	1310	1608	1412	1733	1595	1655	1597	1694	1840	1669	1532	19166	0.35	0.01
Spring	1440	1414	1619	1369	1585	1498	1708	1516	1533	1692	1650	1501	18525	0.33	0.07
Regex	1471	1403	1697	1579	1687	1544	1598	1524	1454	1646	1557	1346	18506	0.33	-0.15
AWS	1405	1309	1510	1276	1572	1476	1680	1620	1480	1736	1649	1612	18325	0.33	0.25
Wordpress	1298	1254	1410	1161	1597	1523	1626	1502	1234	1464	1484	1404	16957	0.31	0.13
Postgresql	1172	1109	1395	1320	1393	1256	1500	1325	1357	1557	1492	1431	16307	0.29	0.32
Mongodb	1180	1163	1212	1141	1416	1447	1474	1395	1382	1474	1448	1480	16212	0.29	0.37
Dataframe	1141	1142	1283	1210	1272	1274	1464	1336	1266	1698	1591	1452	16129	0.29	0.38
Azure	1170	1200	1275	1201	1339	1368	1388	1224	1306	1444	1333	1189	15437	0.28	0.02
Tensorflow	1018	962	1258	1220	1344	1330	1473	1298	1177	1416	1426	1399	15321	0.28	0.47
.Net	1191	1212	1195	1101	1193	1146	1269	1088	1239	1291	1290	1327	14542	0.26	0.17
Kotlin	1027	939	1076	1015	1160	1237	1394	1237	1318	1408	1378	1251	14440	0.26	0.27
Ruby-on-rails	1323	1145	1252	1056	1127	1084	1106	1082	1082	1124	1058	1049	13488	0.24	-0.34
Asp.net-core	975	828	1046	1001	1213	1062	1203	1126	1211	1292	1256	1193	13406	0.24	0.27
Asp.net	1076	1026	1151	1042	1247	1144	1160	1041	1054	1120	1098	1094	13253	0.24	0.02
Numpy	882	1031	1186	1100	1047	968	1080	1078	980	1257	1233	1120	12962	0.23	0.29

Tablo 4'e ek olarak, etiketlerin en çok kullanılması sayısına göre ilk 10 sıraya yerleşen etiketler yüzdelik oranları ile birlikte Şekil 2'de grafik olarak verilmiştir. Şekil 2'ye göre ilk dört sırayı Python, Javascript, Java ve C# programlama dilleri paylaşmaktadır. Beşinci sırada ise bir mobil işletim sistemi ve mobil yazılım geliştirme platformu olan Android yer almaktadır. Bunu altıncı sırada bir web programlama dili olan Php ve yedinci sırada betik bir dil olan Html takip etmektedir. Sekizinci sırada Python programlama dilinin son sürümü olan Python-3.x yer almaktadır. İlk 10'un son sıralarında ise Javascript kütüphaneleri olarak yaygın bir kullanıma sahip olan Reactjs ve Angular yer almaktadır.

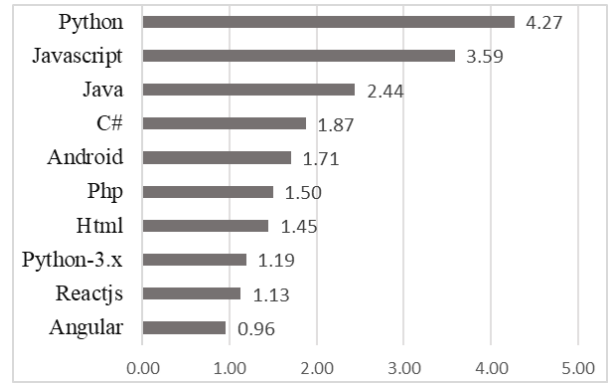
En çok kullanılan ilk 50 etiketin hangi alanlarla ilişkili olduğuna dair bilgiler ile bu etiketlerin en çok kullanılan ilk 50 ve toplam etiket sayısına oranı Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5'te görüldüğü gibi en çok kullanılan ilk 50 etiket altı kategori altında sınıflandırılmıştır. En fazla etiket "Web programlama dili/teknolojiler/araçlar" başlığı altında toplanmışken (n=19), en az etiket ise "Bulut bilişim" kategorisi altında toplanmıştır (n=2).

Tablo 5. Gönderilerde en çok kullanılan 50 etiketin kategorizasyonu

Kategoriler	Etiketler	N	%(Toplam)
Programlama dili/araçlar/kavramlar	Python, Java, C#, Python-3x, R, C++, Arrays, C, Vba	9	13.06
Web programlama dili/teknolojiler/araçlar	Javascript, Php, Html, Reactjs, Angular, Node.js, Css, Jquery, Django, Typescript, Json, Laravel, Spring-boot, Vue.js, Wordpress, .Net, Ruby-on-rails, Asp.net-core, Asp.net	19	15.43
Mobil programlama dili/teknolojiler/platform/araçlar	Android, Swift, IOS, React-native, Flutter, Kotlin	6	4.06
Veri tabanı/teknolojiler	Sql, MySql, Sql-server, Firebase, Postgresql, MongoDB	6	3.03
Bulut bilişim/platformlar	AWS, Azure	2	0.61
Diğer araçlar/çerçeveler/servisler/kütüphaneler	Excel, Docker, Spring, Pandas, Dataframe, Tensorflow, Numpy, Regex	8	3.05

Şekil 3'te de, gönderilerde en çok kullanılan ilk 50 etiketin dahil olduğu sınıfların yüzdelikleri sıralı bir biçimde verilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi, ilk sırayı %15.43 ile Web programlama dili/teknolojiler/araçlar sınıfı oluşturmaktadır. Bunu %13.06 ile Programlama dili/araçlar/kavramlar sınıfı takip ederken, son sırada ise Bulut bilişim/platformlar sınıfı yer almaktadır.

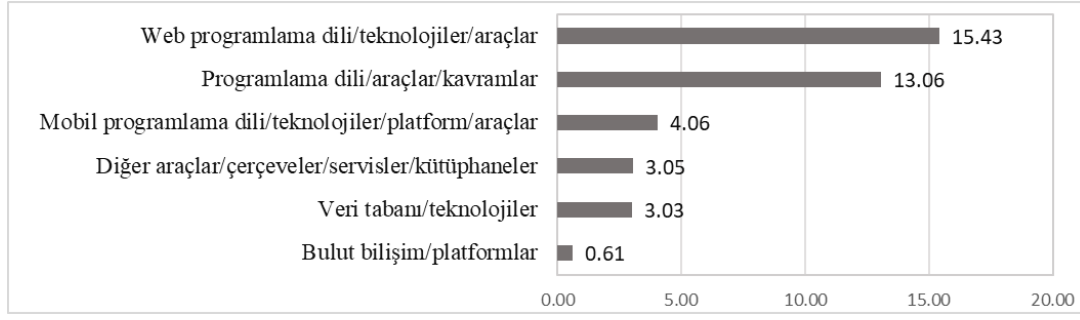
Veri seti üzerinde en fazla kullanılan etiketlerin analizinden sonra, 2019 yılı içerisinde etiketlere



Şekil 2. Gönderilerde en çok geçen ilk 10 etiketin grafiksel gösterimi

Bunlara ek olarak en çok kullanılan ilk 50 etiketin toplam etiket sayısına oranı %39.24 olarak hesaplanmıştı. Bu oranın alt kategorilere dağılımı da % (Toplam) sütunu olarak verilmiş olup ilk sırayı %15.43 ile "Web programlama dili/teknolojiler/araçlar" kategorisi altındaki etiketlerin oranlarının toplamının oluşturduğu görülmüştür.

ilişkin eğilimlerdeki değişimlerin belirlenmesi amacıyla etiketlerin ivmeleri incelenmiştir. Bu kapsamda, tüm veri setinde yer alan 42727 tekil etiket içerisinde ivmesi en çok artan ve azalan ilk 50 etiket Tablo 6'da sıralı bir biçimde verilmiştir. Tablo 6'da görüldüğü gibi ivmesi en çok artan ilk üç etiket sırasıyla Python, Reactjs ve Flutter olarak ortaya çıkmıştır. Benzer şekilde, ivmesi en çok azalan ilk üç etiket ise sırasıyla Php, C# ve Jquery etiketleridir.



Şekil 3. Gönderilerde en çok geçen 50 etiketin kategorizasyonun grafiksel gösterimi

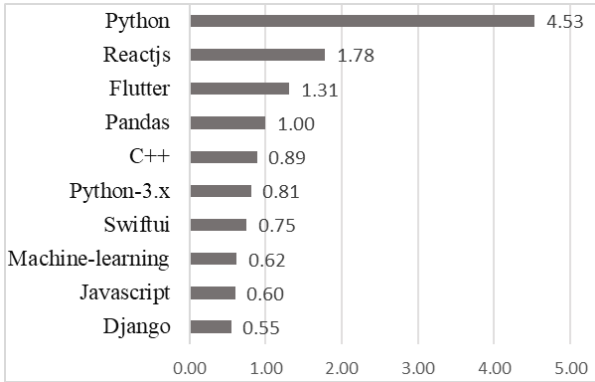
Tablo 6. İvmeleri en çok artan ve azalan ilk 50 etikete ilişkin bilgiler

Etiketler	İvme (%)	Etiketler	İvme(%)
Python	4.53	Php	-1.35
Reactjs	1.78	C#	-0.87
Flutter	1.31	Jquery	-0.69
Pandas	1	Vba	-0.58
C++	0.89	Excel	-0.5
Python-3.x	0.81	Java	-0.46
Swiftui	0.75	Angular6	-0.44
Machine-learning	0.62	Css	-0.41
Javascript	0.6	Sql-server	-0.41
Django	0.55	Angularjs	-0.4
Node.js	0.51	Mysql	-0.39
Vue.js	0.49	Python-2.7	-0.36
Tensorflow	0.47	Ruby-on-rails	-0.34
List	0.46	Ionic3	-0.27
React-hooks	0.45	Angular7	-0.24
Typescript	0.45	Android-studio	-0.23
Angular8	0.45	Laravel-5.7	-0.22
R	0.44	Visual-studio-2017	-0.22
Dart	0.39	Laravel-5	-0.2
Dataframe	0.38	Ruby	-0.19
Arrays	0.38	Ecmascript-6	-0.17
Mongodb	0.37	Twitter-bootstrap	-0.16
Xcode	0.36	Scala	-0.15
Flask	0.35	Regex	-0.15
Visual-studio-code	0.32	Mysqli	-0.15
Postgresql	0.32	Git	-0.14
.net-core	0.31	Login	-0.14
Visual-studio-2019	0.29	Xamarin	-0.13
Numpy	0.29	Bootstrap-4	-0.13
Api	0.28	Android-gradle-plugin	-0.13
Kotlin	0.27	Tsql	-0.13
Asp.net-core	0.27	Angular	-0.13
Tensorflow2.0	0.27	Firebase-realtime-database	-0.13
Authentication	0.26	Symfony	-0.12
Laravel	0.26	Firebase	-0.12
Amazon-web-services	0.25	Java-8	-0.12
React-native	0.25	Perl	-0.12
Deep-learning	0.24	Wpf	-0.11
Function	0.24	Vuejs2	-0.11
Spring-boot	0.24	Xaml	-0.11
Google-sheets-formula	0.22	Ionic-framework	-0.11
Google-sheets	0.22	Exception-handling	-0.11
Oracle	0.21	Ajax	-0.10
Keras	0.21	Asp.net-mvc	-0.09

Tablo 6'nın devamı

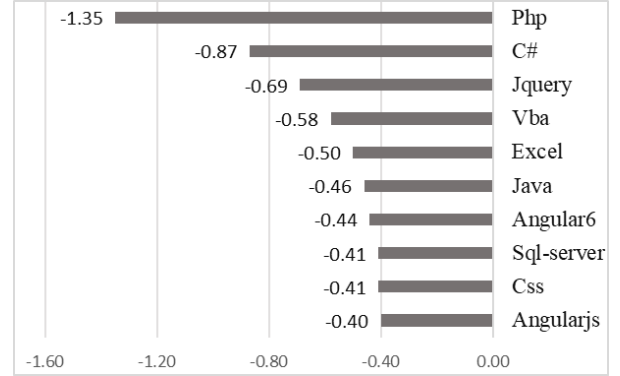
Pyspark	0.21	Xamarin.forms	-0.09
Loops	0.21	Delphi	-0.09
Express	0.19	Asp.net-core-2.1	-0.09
Pytorch	0.19	Angular5	-0.09
Scikit-learn	0.19	Bash	-0.09
Json	0.19	Ms-access	-0.08

Tablo 6'ya ek olarak, ivmesi en çok artan ilk 10 etiketın grafiksel gösterimi Şekil 4'te verilmiştir. Buna göre ivmesi en çok artan etiketler içerisinde Python programlama dili birinci, bir Javascript kütüphanesi olan Reactjs ikinci ve bir mobil uygulama geliştirme ara yüzü olan Flutter üçüncü sırada yer almaktadır. Üst düzey veri işleme aracı olarak kullanılan ve bir Python kütüphanesi olan Pandas ise dördüncü sırada görülmektedir. Beşinci sırada C++ programlama dili, altıncı sırada Python programlama dilinin son sürümü Python-3.x ve yedinci sırada ise Apple platformları için kullanıcı ara yüzleri oluşturmaya yönelik yeni bir araç olan Swiftui yer almaktadır. Bunu bir veri madenciliği tekniği olan ve makine öğrenmesi olarak adlandırılan Machine-learning etiketi takip etmektedir. Listenin dokuzuncu sırasında Javascript programlama dili ve son sırada ise Python için bir web uygulama geliştirme aracı olarak kullanılan Django yer almaktadır.



Şekil 4. İvmesi en çok artan ilk 10 etiketın grafiksel gösterimi

Benzer bir şekilde, ivmesi en çok azalan ilk 10 etiketın grafiksel gösterimi ise Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5'e göre ivmesi en çok azalan etiketler sıralamasında Php birinci, C# programlama dili ikinci, bir Javascript kütüphanesi olan Jquery üçüncü, Visual Basic programlama dilini temsil eden Vba dördüncü ve ofis paketinin bir bileşenin olan Excel ise beşinci sırada yer almaktadır.



Şekil 5. İvmesi en çok azalan ilk 10 etiketın grafiksel gösterimi

4. Sonuç ve tartışma

Bu çalışmada, StackOverflow üzerindeki 2019 yılına ait gönderilerdeki etiketlerden oluşturulan veri seti üzerinde kelime frekanslarına dayalı metinsel içerik analizi yapılmış ve bu analizle yazılım endüstrisine ilişkin güncel tema ve eğilimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Veri seti içerisinde en çok kullanılan ilk 50 etiketın toplam tekil etiketlerin (n=42727) yaklaşık %40'ını temsil ettiği görülmüştür. Bu sonuca göre ilk 50 etiketın veri setini örneklediği söylenebilir. Dolayısıyla ilk 50 etiket üzerinden yürütülecek sonuç ve tartışmalar tüm veri setini betimlediği düşünülebilir. Çalışmanın sonuçlarının başta yazılım geliştiriciler ve bu alanda eğitim alan ve kariyerini bu alanda planlayan bireyler olmak üzere, müfredat yapımcılar ve karar vericilere önemli çıkarımlar ve öngörüler sağlanması beklenmektedir.

StackOverflow'daki 2019 yılına ait gönderilerde kullanılan etiketler üzerinde yapılan bu içerik analizinde önemli örüntüler elde edilmiştir. Şöyle ki, son bir yılda en fazla kullanılan ve ivmesi en fazla artan etiketın Python olarak çıkmış olması, Python programlama dilinin geliştiriciler ve araştırmacılar tarafından en çok konuşulan konu olduğunu göstermektedir. Özellikle büyük verinin yazılım mimarilerine etkin bir şekilde katılmasıyla veri odaklı bir programlama dili olan Python, programlama dilleri içerisinde oldukça baskın bir konuma gelmiştir. Bu durum [Johri ve Bansal \(2018\)](#)'ın sonucu ile paralellik göstermiş olup

Python'un son yıllarda popülaritesini artırdığını gösterir niteliktedir. Nitekim ilk 10 etiket içerisinde yer alan Python, Python-3.x ve ile Python kütüphaneleri olan Pandas, Numpy ve Tensorflow gibi kütüphaneler de dikkate alındığında Python'un yazılım teknolojileri ve programlara dilleri içerisinde önemli bir yer tuttuğu söylenebilir. Nitekim Pandas, Numpy ve Tensorflow kütüphaneleri Python ile ilişkili olup ivmesi artan etiketler arasında yer almaktadırlar.

İlk 50 etiketin kategorik olarak analizi altı sınıfa ortaya çıkarmıştır. Bu sınıflar büyük çoğunlukla güncel programlama dilleri, araçlar ve teknolojilerden oluşmaktadır. Bu sınıflar içerisinde en fazla etiket içeren sınıfın "Web programlama dili/teknolojiler/araçlar" olduğu görülmüştür. Bu durum web teknolojilerinin popülaritesini koruduğu ve farklı teknolojilerin bu alanda kullanıldığının bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Bu sonuçlar Barua vd. (2014) tarafından web teknolojilerinin önemini vurgulandığı çalışma ile paralellik gösterse de ivmesi artan ve azalan etiketler dikkate alındığında önemli bir fark ortaya çıkmaktadır. Nitekim ivmesi artan etiketlere bakıldığında Reactjs, Javascript, Django, Node.js, Vue.js gibi yenilikçi web teknolojisi araçlarının popülaritesini artırdığı; Php, Jquery ve Css gibi nispeten daha eski teknolojilerin popülaritesinin düştüğü söylenebilir. Çalışmanın bu sonuçları, Johri ve Bansal (2018), çalışmalarında web tasarımı/Css'in popüler olduğu sonucuyla ters düşmekte, Css' nin popülaritesinin azaldığını ortaya koymaktadır.

Ortaya çıkan kategorilerden bir diğeri olan "Programlama dili/araçlar/kavramlar" sınıfı "Web programlama dili/teknolojiler/araçlar" sınıfının ardından içerdiği etiket bakımından ikinci sırada yer almıştır. Bu sınıf altında yer alan etiketlere ve ivmesi artan/azalan etiketlere bakıldığında daha önce de söylendiği gibi Python dilinin önemli bir yere sahip olduğu açık ve nettir. Her ne kadar ivmesi azalan etiketler içerisinde Python-2.7 olsa da bu durumun Python-2.7'nin eski sürüm olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim ilk Python, Python-3.x etiketlerine ilişkin ivmelenmenin pozitif olduğu net bir şekilde görülmektedir. Diğer yandan bu sınıftaki etiketlerin ivmelerine bakıldığında Python'un yanı sıra C++'in ivmesi artmışken, C#, Vba, Java gibi dillerin ivmesinin azaldığı söylenebilir. C++'in hem en çok konuşulan konular içerisinde önde gelmesi hem de ivmesinin artması birçok alanda temel programlama dili olarak kabul edilmesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Bu sonuçlar, Gürcan ve Özyurt (2019)'un sonuçları ile kısmen

paralellik kısmen zıtlık taşımaktadır. Nitekim Gürcan ve Özyurt (2019) Java'nın en popüler dil olduğunu ortaya koymuşken, bu çalışmada Java en çok konuşulan konular içinde yer almakla birlikte ivmesinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca elde edilen sonuçlara göre C#, Vba gibi geleneksel dillere olan ilginin düştüğü söylenebilir.

Diğer bir kategori olarak "Mobil programlama dili/teknolojiler/platform/araçlar" kategorisi dikkat çekmektedir. Bu kategori içerisinde "Android" etiketi çok kullanılan etiketlerin başında gelmektedir. Bunun yanı sıra bu kategori altında yer alan altı etiketten tamamının ivmesi pozitif olmakla birlikte "Flutter" en çok ivmelene etiketler içinde üçüncü sırada gelmektedir. Bunlara ek olarak, en hızlı ivmelene etiketlere bakıldığında içerisinde mobil teknolojilere ait çok sayıda etiketin olduğu görülmektedir. Bu durum genel olarak mobil programlara teknolojilerine olan ilginin arttığının bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Barua vd. (2014) ile Johri ve Bansal (2018) çalışmalarında başta Android olmak üzere mobil ortamlarla ilgili popülaritenin arttığından bahsetmişlerdir. Bu sonuçlar desteklenmekle birlikte IOS ve hibrit ortamlarında popülaritesini artırdığı söylenebilir.

Veri tabanı teknolojileri açısından bakıldığında da önemli değişim göze çarpmaktadır. Şöyle ki, en çok artan etiketler içerisinde yer alan veri tabanı kavramlarından beş tanesi ilişkisel veri tabanı yönetim sistemleri ile ilgili sadece MongoDB yenilikçi ilişkisel olmayan veri tabanı yönetim sistemleri türündendir. İvmelenmelere bakıldığında da MongoDB'nin en yüksek ivmeye sahip olduğu görülmektedir. Bu durum yazılım teknolojilerindeki veri tabanı gelişimi ile paralellik göstermekte olup önemli bir husustur. Çalışmanın sonuçları bu bağlamda Gürcan ve Özyurt (2019)'un çalışması ile genel olarak paralellik taşımaktadır. Sadece Gürcan ve Özyurt (2019) çalışmasında Oracle öne çıkmışken bu çalışmada açık kaynak kodlu yeni nesil veri tabanı yönetim sistemleri olan Firebase ve Postgresql dikkat çekicidir. Bunun yanında Sql-server, Mysql gibi eski nesil veritabanı araçlarının negatif ivmeye sahip olması, veritabanı sistemlerinde yeni jenerasyon veri tabanlarına doğru önemli bir yönelime ve teknik dönüşüme vurgu yapmaktadır.

Çalışmanın kısıtları dikkate alındığında, bu çalışma StackOverflow üzerindeki 2019 yılına ait gönderilerde yer alan kullanıcı tanımlı etiketlere ilişkin veriler ile sınırlıdır. Gelecek çalışmalarda gerek yıl bazında gerekse etiketler bazında periyotlar oluşturulup yıl bazında ve etiket bazında daha derinlemesine analizler yapılması

planlanmaktadır. Ayrıca uygulanan yöntem açısından, kelime frekans analizine ek olarak olasılıksal konu modelleme yöntemleriyle soru ve cevaplar üzerinde anlamsal bir kümeleme analizi de uygulanarak farklı çalışmalar yürütülebilir. Bu çalışmalarla yazılım ve bilişim teknolojileri alanındaki trendlere ilişkin farklı perspektifler ortaya konulabilir.

Kaynaklar

- Aggarwal, C.C. and Zhai, C. (2012). Mining Text Data. New York: Springer Science & Business Media.
- Ahmed, T. and Srivastava, A. (2017). Understanding and evaluating the behavior of technical users. A study of developer interaction at StackOverflow. *Human-centric Computing and Information Sciences*, 7(1), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s13673-017-0091-8>
- Bakir, C., Hakkoymaz, V, Diri, B. ve Güçlü, M. (2020). Dağıtık veritabanlarında saldırı önleme metotları. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 425-441.
- Barua, A., Thomas, S.W. and Hassan, A. E. (2014). What are developers talking about? An analysis of topics and trends in stack overflow. *Empirical Software Engineering*, 19(3), 619-654. <https://doi.org/10.1007/s10664-012-9231-y>
- Cavusoglu, H., Li, Z. and Huang, K.W. (2015). Can gamification motivate voluntary contributions? The case of StackOverflow Q&A community. In *Proceedings of the 18th ACM conference companion on computer supported cooperative work & social computing* (pp. 171-174). New York.
- Correa, D. and Sureka, A. (2013). Fit or unfit: analysis and prediction of closed questions on stack overflow. In *Proceedings of the first ACM conference on Online social networks* (pp. 201-212). Boston.
- Gurcan, F. (2019). Extraction of core competencies for big data: Implications for competency-based engineering education. *International Journal of Engineering Education*, 35(4), 1110-1115.
- Gurcan, F. and Kose, C. (2017). Analysis of software engineering industry needs and trends: Implications for education. *International Journal of Engineering Education*, 33(4), 1361-1368.
- Gürcan, F. and Özyurt, Ö. (2019). Analysis of requirements for programming languages and tools in Turkish software industry. *2nd Turkish World Engineering and Science Congress* (pp. 307-311). Antalya.
- Gürcan, F. and Şevik, S. (2019). Expertise roles and skills required by the software development industry. In *2019 1st International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK)* (pp. 1-4). Ankara.
- Gürcan, F. (2009). Web içerik madenciliği ve konu sınıflandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gürcan, F. (2018). Multi-class classification of Turkish texts with machine learning algorithms. In *2018 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 1-5). Ankara.
- Johri, V. and Bansal, S. (2018). Identifying trends in technologies and programming languages using topic modeling. *12th International Conference on Semantic Computing (ICSC2018)* (pp. 391-396). California.
- Joorabchi, A., English, M. and Mahdi, A.E. (2016). Text mining stackoverflow: An insight into challenges and subject-related difficulties faced by computer science learners. *Journal of Enterprise Information Management*, 29(2), 255-275. <https://doi.org/10.1108/JEIM-11-2014-0109>
- Lijffijt, J., Papapetrou, P., Puolamäki, K. and Mannila, H. (2011). Analyzing word frequencies in large text corpora using inter-arrival times and bootstrapping. In *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases* (pp. 341-357). Berlin.
- Murgia, A., Tourani, P., Adams, B. and Ortu, M. (2014). Do developers feel emotions? An exploratory analysis of emotions in software artifacts. In *Proceedings of the 11th working conference on mining software repositories* (pp. 262-271). Hyderabad.
- Nasehi, S.M., Sillito, J., Maurer, F. and Burns, C. (2012). What makes a good code example?: A study of programming Q&A in stackoverflow. In *28th IEEE International Conference on Software Maintenance (ICSM)* (pp. 25-34). Trento.
- Özyurt, Ö. and Özyurt, H. (2010). Forum based learning: Content analysis of asynchronous discussion forums for the teaching of computer programming languages. *International Educational Technology Conference* (pp. 618-622). İstanbul.
- Pal, A., Harper, F.M. and Konstan, J.A. (2012). Exploring question selection bias to identify experts and potential experts in community question answering. *ACM Transactions on Information Systems*, 30(2), 1-28. <https://doi.org/10.1145/2180868.2180872>

- Rajput, N.K., Ahuja, B. and Riyal, M.K. (2019). A statistical probe into the word frequency and length distributions prevalent in the translations of Bhagavad Gita. *Pramana*, 92(4), 1-6. <https://doi.org/10.1007/s12043-018-1709-8>
- Rosen, C. and Shihab, E. (2016). What are mobile developers asking about? A large scale study using stack overflow. *Empirical Software Engineering*, 21(3), 1192-1223. <https://doi.org/10.1007/s10664-015-9379-3>
- Stack Exchange API. (2020, May 29). Retrieved from <https://api.stackexchange.com/>.
- Xia, X., Lo, D., Wang, X. and Zhou, B. (2013). Tag recommendation in software information sites. In 10th Working Conference on Mining Software Repositories (MSR) (pp. 287-296). San Francisco.
- Yang, X.L., Lo, D., Xia, X., Wan, Z.Y. and Sun, J.L. (2016). What security questions do developers ask? A large-scale study of stack overflow posts. *Journal of Computer Science and Technology*, 31(5), 910-924. <https://doi.org/10.1007/s11390-016-1672-0>
- Zhang, J. and Zhu, G.B. (2018). Hot topic discovery research of StackOverflow programming website based on CBOW LDA topic model. *Computer Science*, 45(4), 208-214.

Preliminary data on diet of the Lesser Kestrel (*Falco naumanni* Fleischer) in Aralık, Iğdır province (Eastern Anatolia Region, Turkey)

Aralık, Iğdır (Doğu Anadolu Türkiye)'da küçük kerkenez (Falco naumanni Fleischer) diyeti hakkında ön veri

Ahmet Yesari SELÇUK^{1a}, Ömral Ünsal ÖZKOÇ^{*2b}, Ünal ZEYBEKOĞLU^{3c}, Haluk KEFELİOĞLU^{3d}

¹ Yüzüncü Yıl District, Tekart Site, 01170, Çukurova, Adana, Turkey

² Ondokuz Mayıs University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Biology, 55139, Samsun, Turkey

³ Ondokuz Mayıs University, Faculty of Science, Department of Biology, 55139, Samsun, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 21.05.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 20.01.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 16.02.2021

Abstract

Studies on the feeding biology of Lesser Kestrel (*Falco naumanni*) have limited in Turkey. The aim of this study was to contribute to the knowledge of its feeding ecology in arid areas. In this study, pellet compositions of Lesser Kestrel were examined. Compositions of 17 pellets of *Falco naumanni* were used in the study. 182 preys which belong to 8 different taxa were found in the diet composition. Insecta (f= 59.34%) and Arachnida (f= 37.36%) taxa were the main preys in the diet composition of *Falco naumanni*. Solpugidae (Arachnida) (f= 35.16%) had the high prey rate in the dietary composition. The significant ratio of members of Solpugidae was similar to the results of the other semi-arid and arid areas.

Keywords: Pellet, Semi-desert, Solpugidae, Turkey

Öz

Türkiye'de küçük kerkenezin (*Falco naumanni*) beslenme biyolojisi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma vardır. Bu çalışmanın amacı, bu türün kurak alanlardaki beslenme ekolojisine yönelik bilimsel değerlendirmelere katkıda bulunmaktır. Bu çalışmada küçük kerkenezin pelet içerikleri incelenmiştir. Çalışmada türe ait 17 peletin içeriği değerlendirilmiştir. Diyet bileşiminde 8 farklı taksona ait 182 av tespit edilmiştir. *Falco naumanni*'nin diyet bileşimindeki ana avlar; Insecta (f= %59,34) ve Arachnida (f= 37,36%) taksonlarıdır. Arachnida'dan Solpugidae familyası (f= %35,16), diyet bileşiminde yüksek av oranına sahiptir. Solpugidae üyelerinin bu belirgin oranı, diğer yarı kurak ve kurak alanların sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Pelet, Yarı-çöl, Solpugidae, Türkiye

*b Ömral Ünsal ÖZKOÇ, omral.ozkoc@yahoo.com.tr, (0506) 818 55 99, orcid.org/0000-0002-5918-8664

^a orcid.org/0000-0002-2785-2823

^c orcid.org/0000-0003-1646-5999

^d orcid.org/0000-0002-7421-6037

1. Introduction

Many different methods are used in finding out prey preferences such as pellet analysis, stomach content analysis, and regurgitation of juvenile birds, fecal analysis, and examination of prey remains in the nest and around the feeding area or direct examination (Duffy and Jackson, 1986; Marti et al., 2007). Pellet analysis is a frequently used method in finding out feeding strategies of raptors (Terry, 2008).

Lesser Kestrel (*Falco naumanni* Fleischer) is a long-distance migratory Old-World falcon, which breeds in the Mediterranean and steppe zone of the Palearctic Region and wintering in east and south Africa (Iñigo and Barov, 2011; Forsman, 2016) and it is also a widespread and common summer visitor over much of Turkey. In Eastern Anatolia, they generally breed in small colonies of from 2 to 5 pairs, and it is reported these populations are probably declining (Kirwan et al., 2010).

The Lesser Kestrel has a diet composition which consists of mostly big insects such as orthopterans, termites, coleopteran such as beetles and also some other larger terrestrial arthropods (Cramp, 1980; Kopij and Liven-Schulman, 2012). Tella et al. (1996) also reported lower rates of small mammals, reptiles and birds in the diet of the Lesser Kestrel.

Although there are a great number of studies were carried out to find out the prey preferences of this species within its area of distribution (Rocha, 1998; Anderson et al., 1999; Lepley et al., 2000; Rodríguez, 2004, Rodríguez et al., 2010; Kopij 2007), there are quite few studies were carried to find out diet composition of Turkey population (Lyaister and Sosnin, 1942; Avci, 2018). There is a great information gap on the feeding ecology of the Lesser Kestrel through eastern Anatolia. Therefore, the primary aims of this study were to investigate the diet composition of the Lesser Kestrel in semi-arid habitat and to make contributions to the literature.

2. Materials and methods

This study was carried out in the provinces of Iğdır in the Eastern Anatolia Region of Turkey in 2018 (Figure 1). Lesser Kestrel pellets were collected from the steppe in the northeast of Mount Ağrı (in between Aralık-Mount Ağrı, 39°45'N, 44°33'E) where desert and semi-desert vegetation are dominant (Korotyaev et al. 2016), within the borders of the province of Iğdır on 30th of April. Since the area is a military zone, it is not intensely used by human beings. *Calligonum* sp., which is frequently seen in the research area, is the dominant plant species in the sand desert alongside Aras valley (Iğdır) (Korotyaev et al., 2016). Characteristics of arid climate are generally seen in the province of Iğdır. While the average temperature is 13.3°C and average rainfall is 34.5 mm in April when the pellets were obtained, the average annual temperature is 12.1°C and average rainfall is 256.0 mm (Karaoğlu, 2011).

The dissecting of the pellets was carried out according to Yalden (2009). Each pellet was examined separately to avoid the mistake of prey per pellet. Pellets were placed in beakers filled with water and beakers were kept in a 60 °C water bath for 10 minutes. This step helps to easily separate the fur from bones and chitin. The remains were left to dehydrate after dissection.

Skull and mandible were used for the identification of small mammals according to Kryštufek and Vohralik (2001) and Tez (2000). Elytra of beetles, leg part, chelicerae of sunspiders, manus, jaw, telson and pedipalpus parts, which can be identified easily, were used in the identification of invertebrates. The identification of invertebrate taxa was made according to Chinery (1993).

The minimum number of individuals (MNI) of small mammal, bird and insect taxa inside the pellet composition, frequency (f%) and average prey amount for each pellet rates were calculated.



Figure 1. Semi-desert habitat where pellets were collected and Mount Ağrı (star: Aralık district-Iğdır, Eastern Anatolia Region of Turkey).

3. Results

In the diet of Lesser Kestrel, prey items were assigned to 8 different taxa, including Solpugidae (sunspiders, Order: Solifugae), Scorpionidae (scorpions, Order: Scorpiones), Tettigoniidae (bush crickets, Order: Orthoptera), Formicidae (ants, Order: Hymenoptera), Carabidae (ground beetles, Order: Coleoptera) and unidentified members of Orthoptera/Mantodea families (Figure 2). Additionally, Reptilia and Mammalia were

identified in a low-frequency (Table 1). A significant part of the diet composition of Lesser Kestrel consists of arachnids (F=37.36%) and insects (F=59.34%) taxa. Diet composition consists of Hymenoptera (Formicidae), Coleoptera (Carabidae) and Orthoptera (Tettigoniidae) taxa, with f=35.16%, f=10.99 % and f=10.44%, respectively. Sunspider remains, which formed a significant part of diet composition were found in 94% (min-max:1-7) of the pellets (Table 1).

Table 1. Diet composition of *Falco naumanni* from Aralık, Iğdır (Eastern Anatolia Region of Turkey), minimum number of individuals (MNI) and Frequency (f%).

Prey taxa	<i>Falco naumanni</i>	
	MNI	f%
<i>Crociodura suaveolens</i>	1	0.55
Mammals total	1	0.55
Solpugidae	64	35.16
Scorpionidae	4	2.20
Arachnids total	68	37.36
Formicidae	64	35.16
Tettigoniidae	19	10.44
Carabidae	20	10.99
Orthoptera/Mantodea	5	2.75
Insects total	108	59.34
Reptile	5	2.75
Reptile total	5	2.75
Total pellet		17
Total prey item		182
Mean number		3.03
prey/pellet		[min-max: 1-20]

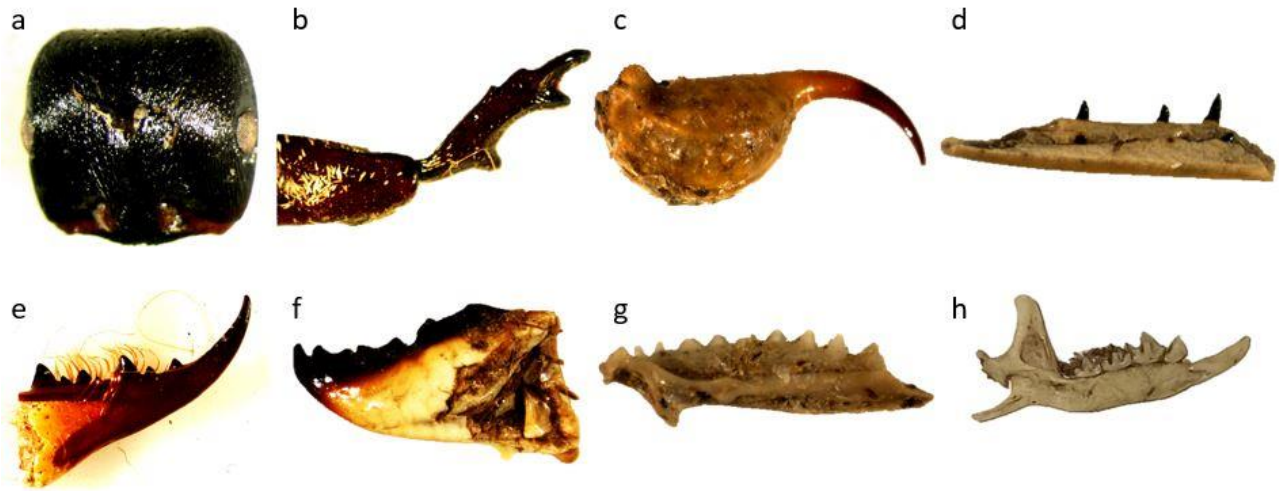


Figure 2. Body parts of preys (a-Formicidae, b-Carabidae, c-Scorpionidae, d-Mantodea/Orthoptera, e-Solpugidae, f-Tettigonidae, g-Reptilia, h-Mammalia)

4. Discussion and conclusion

The species is possibly breeding in the region of the study area (Boyla et al., 2019), but it is the passage migrant species according to observations of this study.

A great number of studies conducted to find out diet composition show that a great part of Lesser Kestrel consists of insects (Lepley et al., 2000; Kok et al., 2000; Khaleghiadeh and Javidkar, 2007; Pérez-Granados, 2010; Rodríguez et al., 2010; Ganbold et al., 2017; Di Maggio et al., 2018). In this study, we determined 108 individuals belonging to three families of Insecta. Besides, it was reported that 5 individuals belonging to Orthoptera or Mantodea family. A total of 108 individuals belonging to these families account for more than half of all preys (59.34%). According to our results, sunspiders were the most hunted group after insects (37.36%). While the members of Orthoptera and Coleoptera are dominant in the breeding and non-breeding European population of Lesser Kestrel, sunspiders' taxa take up a significant part in the diet composition of Israel and African populations (Anderson et al., 1999; Kok et al., 2000; Kopij, 2002). Kopij and Liven-Schulman (2012) reported that sunspiders can be the primary prey in the diet of Lesser Kestrel in arid areas of Southern Palearctic Region. The results of this study show that as in Israel, the diet composition of Lesser Kestrel in arid or semi-arid habitat contains sunspiders (Solpugidae), unlike European population (Table 1). The results of this study contained high amounts of sunspiders as in Israel. In addition, in a study conducted in a semi-desert area in Mongolia, Ganbold et al. (2017) reported that the diet composition could have insect and

reptile taxa rather than sunspiders. We reported a low rate of reptiles (2.75%). These differences could be a result of that the diet composition of Lesser Kestrel, which is an opportunist raptor, can differ according to the habitat type, the intensity of agricultural land, season, breeding, or non-breeding periods (Anderson et al., 1999; Kopij and Liven-Schulman, 2012).

In this study, lizards and small mammal prey rates in the diet composition of Lesser Kestrel were found to be in low levels when compared with insect taxa. Depending on the insect intensity in the habitat of Lesser Kestrel, low rates of reptiles and mammals can increase in the diet (Ganbold et al., 2017). According to Ananian (2009), in a study conducted by Lyaister and Sossin (1942), unlike the present study, small rodents and lizards formed the main prey in the pellets of Lesser Kestrels which were obtained from the same habitat in the present study. In a study in Central Anatolia, Avci (2018) reported the results as taxon levels and reported that a great amount of Coleoptera and Orthoptera, and in small quantities of Solpugidae and other arthropods in the diet content.

In conclusion, diet ecology studies are one of the most important parts of ecology researches of raptors. In Turkey, the feeding ecology of Lesser Kestrel was of poor interest in ornithology studies and there are only two studies in Turkey (Lyaister and Sossin, 1942; Avci, 2018). And also, diet can vary depending on the study area, season, prey intensity in the area and habitats. Since the sample size and the number of potential breeding Lesser Kestrel was small in this study, and only a few other studies have reported similar observations on the diet specialization of birds, this niche is

probably only used by a small percentage of Lesser Kestrel. For these reasons, to better understanding of diet of Lesser Kestrel, more detailed studies are needed in Turkey. Future studies with a larger sample size are needed in order to determine the importance of birds in the diet of the Lesser Kestrel in urban habitats and whether the change in diet affects breeding success.

References

- Ananian, V. (2009). On the distribution and ecology of the lesser kestrel *Falco naumanni* in Armenia. *Sandgrouse*, 31(1), 44-54.
- Anderson, P.C., Kok, O.B., and Erasmus, B.H. (1999). Diet, body mass and condition of lesser kestrels *Falco naumanni* in South Africa. *Ostrich*, 70, 112-116. <https://doi.org/10.1080/00306525.1999.9634523>
- Avcı, S. (2018). Gölbaşı (Ankara) Bölgesi'ndeki küçük kerkenezin (*Falco naumanni*, Fleischer, 1818) üreme başarısı, habitat ve besin tercihleri üzerine araştırmalar. Master's Thesis. Hacettepe University Institute of Science, Ankara.
- Boyla, K.A., Sinav, L., ve Dizdaroğlu D.E. (2019). Türkiye üreyen kuş atlası. İstanbul: WWF-Türkiye, Doğal Hayatı Koruma Vakfı.
- Chinery, M. (1993). *Collins Field Guide to the Insects of Britain and Northern Europe*. London: Collins.
- Cramp, S. (1980). *The Birds of the Western Palearctic*. Vol. 2. Oxford: Oxford University Press. 960 p.
- Di Maggio, R., Campobello, D., and Sarà, M. (2018). Lesser kestrel diet and agricultural intensification in the Mediterranean: an unexpected win-win solution? *Journal for Nature Conservation*, 45, 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.08.009>
- Duffy, D.C., Jackson, S. (1986). Diet studies of seabirds: a review of methods. *Colonial Waterbirds*, 9, 1-17. <https://doi.org/10.2307/1521138>
- Forsman, D. (2016). *Flight Identification of Raptors of Europe, North Africa and the Middle East* (2nd ed.). London: Bloomsbury.
- Ganbold, O., Azua, J., Suuri, B., Paik, I., Khuderchuluun, O., Paek, W.K., and Reading, R.P. (2017). Diet composition of lesser kestrels in Ikh Nart Nature Reserve, Mongolia. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 10, 460-464. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2017.07.002>
- Iñigo, A., Barov, B. (2011). Action Plan for the Lesser Kestrel *Falco naumanni* in the European Union. SEO-BirdLife, BirdLife International for the European Commission.
- Karaoğlu, M. (2011). Zirai Meteorolojik Açından Iğdır İklim Etüdü. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 1(1), 97-104.
- Khaleghizadeh, A., and Javidkar, M. (2007). Past and present population and rodent diet of the lesser kestrel (*Falco naumanni*) in Northern Iran. *Falco*, 29, 12-16.
- Kirwan, G.M., Boyla, K., Castell, P., Demirci, B., Özen, M., Welch, H., and Marlow, T. (2010). *The Birds of Turkey*. London: Christopher Helm.
- Kok, O.B., Kok, A.C., Van, E., and C.A. (2000). Diet of the migrant lesser kestrels *Falco naumanni* in their winter quarters in South Africa. *Acta Ornithologica*, 35, 147-151. <http://dx.doi.org/10.3161/068.035.0207>
- Kopij, G. (2002). Food of the lesser kestrel (*Falco naumanni*) in its winter quarters in South Africa. *The Journal of Raptor Research*, 36, 148-152.
- Kopij, G. (2007). Seasonal and annual dietary changes in lesser kestrels *Falco naumanni* wintering in Lesotho. *Ostrich*, 78, 1-5.
- Kopij, G., Liven-Schulman, I. (2012). Diet of the lesser kestrel, *Falco naumanni*, in Israel: (Aves: Falconiformes). *Zoology in the Middle East* 55(1), 27-34. <https://doi.org/10.1080/09397140.2012.10648914>
- Korotyaev, B.A., Gültekin, L., Volkovitsh, M.G., Dorofeyev, V.I., and Konstantinov, A.S. (2016). Bioindicator beetles and plants in desertified and eroded lands in Turkey. *Journal of Insect Biodiversity*, 4(1), 1-47. <https://doi.org/10.12976/jib/2016.4.1>
- Kryštufek, B., and Vohralik, V. (2001). *Mammals of Turkey and Cyprus*. Order Insectivora (Introduction, Checklist, Insectivora). Koper: Knjiznica Annales Majora.
- Lepley, M., Brun, L., Foucart, A., and Pilard, P. (2000). Régime et comportement alimentaires du falcon crecerellette *Falco naumanni* en crau en période de reproduction et post-reproduction. *Alauda*, 68, 177-184.
- Lyaister, A.F., Sosnin, G.V. (1942). *Materials on the Ornithofauna of the Armenian SSR*. Yerevan, Armenia: Armfan.
- Marti, C. D., Bechard, M., and Jaksic, F. M. (2007). Chapter 8: food habits. Bildstein, K. L., & Bird, D. M. (Ed.), *Raptor research and management techniques* (p. 129-151). China: Hancock House.
- Pérez-Granados, C. (2010). Diet of adult lesser kestrels *Falco naumanni* during the breeding season in Central Spain. *Ardeola*, 57, 443-448.

- Rocha, P.A. (1998). Dieta e comportamento alimentar do peneireiro-de-dorso-liso *Falco naumanni*. *Airo*, 9, 40-47.
- Rodríguez, C. (2004). Factores ambientales relacionados con el éxito reproductivo del cernícalo primilla. Cambio climático e intensificación agraria. Ph.D. dissertation, University of Salamanca, Salamanca, Spain.
- Rodríguez, C., Tapia, L., Kieny, F., and Bustamante, J. (2010). Temporal changes in lesser kestrel *Falco naumanni* Diet during the breeding season in southern Spain. *The Journal of Raptor Research*, 44, 120-128. <https://doi.org/10.3356/JRR-09-34.1>
- Tella, J.L., Hiraldo, F., Donazar-Sancho, J.A., and Negro, J.J. (1996). Costs and benefits of urban nesting in the lesser kestrel: raptors in human landscapes. London: Academic Press.
- Terry, R.C. (2008). Modeling the effects of predation, prey cycling, and time averaging on relative abundance in raptor-generated small mammal death assemblages. *Palaios* 23(6), 402-410. <https://doi.org/10.2110/palo.2007.p07-071r>
- Tez, C. (2000). Taxonomy and Distribution of the white-toothed shrews (*Crocidura*) (*Soricidae*: *Insectivora*: *Mammalia*) of Turkey. *Turkish Journal of Zoology*. 24, 365-374.
- Yalden, D.W. (2009). *The analysis of owl pellets* (4th Ed.) Southampton: Mammal Society, 28 pp.

Diş tedavisinde kullanılan post core sistemin yaklaşık çözüm yöntemleri kullanılarak optimum tasarımı

Optimum design of post core system used in dental treatment using approximate solution methods

Oğuz KAYABAŞI*^{1,a}

¹ Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, 81620, Düzce

• Geliş tarihi / Received: 08.05.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 23.01.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 19.02.2021

Öz

Post core tedavisi, çok fazla risk taşıyan bir tedavi olması nedeniyle yüksek başarısızlık riski olan bir tedavidir. Bu nedenle, post core şeklinin optimizasyonu büyük önem taşımaktadır. Başarısızlık riski, zayıf noktaların keşfedilmesi ve optimize edilmesiyle azaltılabilir. Post core şeklinin tasarımı, mühendisler ve cerrahlar arasında yakın iş birliği gerektiren karmaşık bir süreçtir. Çok dayanıklı post core tasarlamak için, çene kemiğinde meydana gelen doğal süreçleri hesaba katmak gerekir. Post core tasarımındaki en önemli faktörlerden biri post core da, çene kemiğinde ve dişte meydana gelen gerilmeleri azaltmaktır. Post core testlerin in vivo gerçekleştirilmesinin zorluğu nedeniyle, yapısal modelleri yürütmek için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu çalışmada post core sisteminin statik ve dinamik yükler altındaki etkileri sonlu elemanlar metodu ile incelenmiş, ilk olarak 3D modellemesi yapılmıştır. Analizler, farklı malzemeden yapılmış elemanların geometrik özelliklerle optimize edilmesiyle yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırılmış ve post çekirdeklerin potansiyel zayıflıkları analiz edilmiştir. Bu çalışmada, post core tasarımı için etkili ve otomatik bir tasarım stratejisi önerilmiştir. Bu stratejide, Sonlu Elemanlar Analizi, Yaklaşık model ve sayısal bir optimizasyon algoritması, otomatik bir tasarım aracı oluşturmak için entegre edilmiştir. Bu yaklaşımı kullanarak, post core'un şekil tasarımı, geleneksel bir sayısal optimizasyon algoritması ile kolayca çözülebilen bir optimizasyon problemi şeklinde formüle edilebilir. Bu, tasarım için zaman kazandıracak ve post core sisteminin hastaya yanlış uygulanmasından kaynaklanan kalıcı hasarları önleyecektir.

Anahtar kelimeler: Post core sistem, Sonlu elemanlar analizi, Yaklaşık çözüm yöntemi

Abstract

Post-core therapy is a treatment with a high risk of failure due to the high risk of treatment. For this reason, optimization of the post core shape is of great importance. Failure risk can be reduced by discovering and optimizing weak points. The design of the post-core shape is a complex process that requires close cooperation between engineers and surgeons. In order to design a very durable post core, it is necessary to take into account the natural processes occurring in the jawbone. One of the most important factors in post-core design is to reduce stresses in post-core, jawbone and tooth. Because of the difficulty of performing post-core tests in vivo, mathematical models have been developed to carry out structural models. In this study, the effects of post core system under static and dynamic loads were examined with finite element method and firstly 3D modeling was done. The analyzes were made by optimizing the geometric properties of the elements made of different materials. The results were compared and potential weaknesses of the post cores were analyzed. In this study, an effective and automatic design strategy for post core design is proposed. In this strategy, Finite Element Analysis, Approximate model and a numerical optimization algorithm, are integrated to create an automated design tool. This will save time for design and prevent permanent damage caused by improper application of the post core system to the patient.

Keywords: Post core system, Finite element analysis, Approximate solution techniques

*^a Oğuz KAYABAŞI; oguzkayabasi@duzce.edu.tr, Tel: (0380) 542 10 36, orcid.org/0000-0003-0129-1113

1. Giriş

Endodontik olarak tedavi edilen dişlerin restorasyonu hala tartışmalı bir konudur ve vital dişlere göre daha yüksek biyomekanik yetmezlik riskine sahip olduklarından, bunları düzeltmek için en etkili yolu seçerken özel dikkat gösterilmektedir. (Llena vd., 2001, Fennis vd., 2002, Testori vd., 1993). Restorasyon sonrası dişlerin kırılma direnci sayısız in vitro ve in vivo çalışmanın konusu olmuştur (Martinez vd., 1998, Darendeliler vd., 1998, Yang vd., 2002, Isidor vd., 1999, Heydecke vd., 2002, De Castro Albuquerque vd., 2003, Lanza vd., 2005, Genevose vd. 2005). Dişler ve restorasyonlarda gerilme ve gerinim dağılımlarını değerlendirmek ve klinik başarısızlık riski altında olan tahmini alanları varsaymak için FEA ile farklı yüklemeye koşulları değerlendirilebilir (Sahafi vd., 2005, Zarone vd., 1998). Restoratif teknikle ilgili en iyi bakış açıları literatürde bulunabilir, ancak in vivo çalışmalar genellikle klinik olarak mevcut olan ve kırık direncinde çok yüksek standart sapmalara neden olan birçok değişkeni kontrol edemez. Ayrıca, bir in vitro deneyde kullanılan statik yüklemeye in vivo durumun temsilcisi olmayabilir. Dinamik yüklemeye daha geçerli gibi görünmektedir, ancak birçok çalışmada bir kırığın kayıt altına alınması için gerçekçi olmayan yüksek yükler kullanılmaktadır. In vitro çalışmalardan elde edilen sonuçların büyük değişkenliğinden dolayı, dübel-restore edilmiş dişlerin birçok araştırması sonlu elemanlar analizine (SEA) dayanmaktadır (Assif ve Gorfil 2005, Stockton vd., 1998, Baratieri vd., 2000, Assif vd., 2003). Bazı araştırmacılar dentin ve çimentodaki düğümlerin her bir bağlayıcı için sabit bir bağlanma dayanımı belirlemişlerdir (Daisuke vd., 2019, Ona vd., 2013, Ploumaki vd., 2013, Mojtaba vd., 2017, Kalay vd., 2016, Kayabaşı vd., 2006). Bir restoratif sistem, yüklemeye olduğunda, kendine özgü gerilme ve gerinim dağılımları üreten kuvvetleri absorbe edebilir. Örneğin, Sonlu Elemanlar Analizi kullanılarak bu gibi modellerin değerlendirilmesi, olası mekanik arıza riski altındaki alanları tahmin etmek için güvenilir bir öngörü parametresi olabilir. Sadece mine ve dentin değil, aynı zamanda kemik dokuları, periodontal ligamanın ve yapıştırıcı ara yüzlerinin mekanik olarak karakterize edilmesi mümkündür. Restorasyonlar içindeki stres dağılımlarını değerlendirmek ve klinik başarısızlık riski altında olan tahmini alanları varsaymak için farklı yüklemeye koşulları SEA ile değerlendirilebilir. Sanal benzetimlerden elde edilen veriler in vitro sonuçlar ile doğrulanmalıdır ve benzetim edilmiş

matematiksel modellerin doğrulanması için laboratuvar incelemeleri kullanılmalıdır

Bu çalışmada, post core tasarımı için etkili ve otomatik bir tasarım stratejisi önerilmiştir. Bu stratejide, Sonlu Elemanlar Analizi, Yaklaşık model ve sayısal bir optimizasyon algoritması, otomatik bir tasarım aracı oluşturmak için entegre edilmiştir. Bu yaklaşımı kullanarak, post core'un şekil tasarımı, geleneksel bir sayısal optimizasyon algoritması ile kolayca çözülebilen bir optimizasyon problemi şeklinde formüle edilebilir. Bu, tasarım için zaman kazandıracak ve post core sisteminin hastaya yanlış uygulanmasından kaynaklanan kalıcı hasarları önleyecektir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Sonlu elemanlar modeli

Ağız içi fiziki şartların analizinin yapılabilmesi için post core sisteminin bilgisayar ortamında modellenmesi gerekir. 3 aşamadan meydana gelen sonlu elemanlar modelinde ilk aşamada geometrik modelin oluşturulmasıdır. Bu çalışmada geometrik model CAD programı olan Pro/Engineer WildFire 5.0 kullanılarak oluşturulmuştur. Geometrik model oluşturulduktan sonra IGES formatında sonlu elemanlar modelinin oluşturulması için ANSYS 18.1 APDL sonlu elemanlar analiz programına aktarılmıştır. Sadece mine ve dentin değil, aynı zamanda kemik dokuları, periodontal ligamanın mekanik olarak karakterize edilmesi için birebir ağız içinin sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar modelinde iç kemik için ortotropik malzeme modeli ($E_x = E_y = 11.5$ GPa, $E_z = 17$ GPa; $G_{xy} = 3.6$ GPa, $G_{xz} = G_{yz} = 3.3$ GPa; $\nu_{xy} = 0.51$, $\nu_{xz} = \nu_{yz} = 0.31$) dış kemik için isotropik malzeme modeli ($E = 2.13$ GPa ve $\nu = 0.3$) kullanılmıştır (Kayabaşı vd., 2006, Kayabaşı, 2020). Modelde kullanılan diğer malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Modelde yer alan temas yüzeyleri arasındaki fiziksel etkileşimler, temas-çarpma algoritmaları kullanılarak simüle edilmiştir.

Bu temas elemanları, yüzeyler arası sürtünmenin kullanılmasına izin verir. Post ve yapıştırıcı ara yüzü bağlanmış temas tipi olarak modellenmiştir. Aşağıda belirtildiği gibi üç farklı tip temas algoritması kullanılmıştır (Kayabaşı vd., 2006).

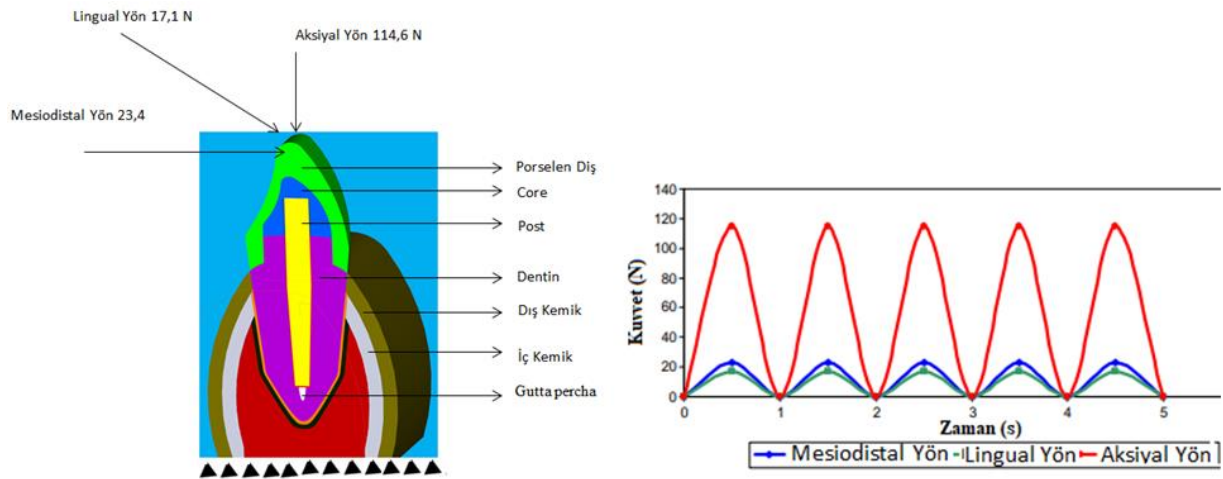
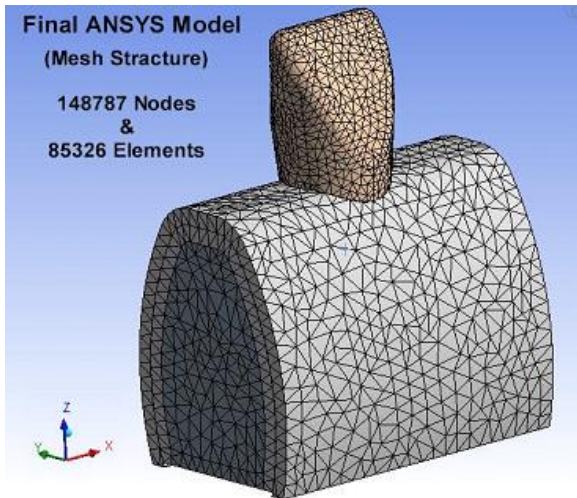
- 1-Bonded temas algoritması
- 2-Debonded temas algoritması $\mu = 0.22$
- 3-Debonded temas algoritması $\mu = 0$

Tablo 1. Malzeme özellikleri

Malzeme	Elastik modülü (GPA)	Poisson oranı (ν)	Referans
Enamel	1.97	0.669	Hansen (1990)
Pulp	2.65	0.844	Hansen (1990)
Dentin	18.6	0.310	Hansen (1990)
Periodontal Ligament	0.0689	0.450	Testori (1993)
Gutta percha	0.00069	0.450	Testori (1993)
Porselen diş	120	0.280	Testori (1993)
Titanyum post	112	0.330	Llena (2001)
Cam fiber post	40	0.260	Llena (2001)
Karbon fiber post	125	0.250	Llena (2001)
Zirkonyum post	200	0.330	Fennis (2001)
Yapıştırıcı	22	0.350	Fennis (2001)

Sonlu elemanlar modelinde ikinci aşama sınır şartlarının oluşturulmasıdır. Şekil 1 (a)'da gösterildiği gibi çiğneme esnasında oluşan 3 yöndeki kuvvetler porselen dişin yüzeyine uygulanmıştır. Çiğneme esnasında meydana gelen

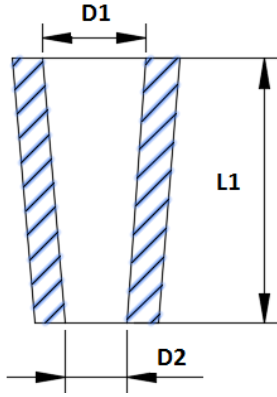
3 yöndeki kuvvetler, dinamik etkilerin de hesaba katılması için 5 saniyelik kuvvet-zaman eğrisiyle oluşturulmuştur. Kuvvet-Zaman eğrisi Şekil 1 (b)'de gösterilmektedir.

**Şekil 1.** Sınır Şartları (a) Yüklerin uygulanması (b) Kuvvet-Zaman Eğrisi**Şekil 2.** Sonlu elemanlar modeli

2.2 Parametrik model

Geometrik şekiller, post core sisteminin performansı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Gerilme konsantrasyonu seviyesi ve yorulma başarısızlığı eğilimi, gövde yüzeylerinin açısallığına bağlıdır. Bu çalışmada, düşük gerilme değerleri ve yüksek yorulma ömrü sağlayacak bir post core geometrisi araştırılmıştır. Bu amaca ulaşmak için, post core ANSYS Parametrik Tasarım Dili (APDL) kullanılarak parametrik olarak modellenmiştir. Parametrik modelde kullanılan parametreler, tasarım parametreleri olarak adlandırılır ve Şekil 3'te gösterilmektedir. En iyi post core şekli (boyutlar) bu parametrelerin ayarlanmasıyla bulunur. Şekil 3'teki D1, D2 ve L1 'in tasarım değişkenleri geometriyi açıklar. Şekil 3'teki D1, D2 ve L1 tasarım değişkenleri olup

parametrik modeli açıklar. Okuyucuya, tasarım parametrelerinin sayısı arttıkça, daha iyi post core şekli (yani daha iyi performans) olacağına hatırlatılması faydalı olacaktır. Bununla birlikte, en iyi post core tasarımı bulmak için ihtiyaç duyulan analiz sayısı (yani hesaplama maliyeti), seçilen tasarım parametrelerinin sayısı ile doğrusal veya kuadratik olarak orantılı olacaktır.



Şekil 3. Parametrik model

En iyi (optimum) post core geometrisi veya şekli için arama işlemi, amaç ve gereksinimler, aşağıdaki gibi bir optimizasyon problemi tanımı biçiminde ifade edilirse, sayısal bir optimizasyon algoritması aracılığıyla otomatikleştirilebilir.

Tasarım parametrelerini bul:

$$D1, D2, L1 \quad (1)$$

Tasarım amacını minimize et:

$$\text{Maksimum gerilme (von Mises gerilme)} \quad (2)$$

Tasarım kısıtlamaları:

$$\sigma_{\text{post şekli}} \leq \sigma_{\text{post şekli}}^{\text{akma}} \quad (3)$$

$$\sigma_{\text{yapıştırıcı}} \leq \sigma_{\text{yapıştırıcı}}^{\text{akma}} \quad (4)$$

$$\sigma_{\text{çene kemiği}} \leq \sigma_{\text{çene kemiği}}^{\text{akma}} \quad (5)$$

$$\tau_{\text{yapıştırıcı-post core}} \leq \tau_{\text{yapıştırıcı-post core}}^{\text{hata}} \quad (6)$$

Tasarım aralığı:

$$1\text{mm} \leq D1 \leq 2.5\text{mm} \quad (7)$$

$$0.6\text{mm} \leq D2 \leq 1.5\text{mm} \quad (8)$$

$$7\text{mm} \leq L1 \leq 12\text{mm} \quad (9)$$

Denklem (1), post core sistemini geometrisini/şeklini tanımlayan tasarım

parametrelerini gösterir. Denklem (2), tüm post core sistemi üzerinde meydana gelen maksimum gerilmeyi en aza indiren tasarım amacını temsil eder. Denklemler (3-6), post core sistemi bileşenlerinde yapısal ve yorulma mukavemeti limitleri üzerindeki tasarım kısıtlamalarına karşılık gelir. Denklemler (9-11), parametrelerin aranacağı tasarım alanını temsil eder. Tasarım alanının sınırları, deneyime ve literatüre dayanarak belirlenir. Denklemler (2-6)'daki amaç ve kısıtlama işlevleri, optimizasyon probleminin çözümünden önce açıkça (analitik olarak) bilinmemektedir. Farklı post core şekillerine karşılık gelen belirli sayıda rastgele seçilmiş tasarım parametre değeri için Sonlu elemanlar analiz sonuçlarına en küçük karesel uydurma uygulanarak oluşturulurlar. Amaç ve kısıtlama fonksiyonlarının yaklaşımları kullanıldığı için, optimizasyon yöntemi bazen yaklaşık optimizasyon yöntemi olarak adlandırılır ve yaklaşımlar yanıt yüzey yaklaşımı veya yanıt yüzey modelleri olarak adlandırılır. Lineer ve kuadratik polinom fonksiyonlar genellikle amaç ve kısıtlama fonksiyonlarının cevap yüzey yaklaşımlarını oluşturmak için kullanılır. ANSYS DO modülünde uygulanan ve bu çalışmada kullanılan yaklaşık optimizasyon yöntemi Şekil 4'te gösterilmiştir.

Bir şekil tasarım optimizasyonu problemi genellikle kısıtlı bir minimizasyon problemi olarak formüle edilebilir.

$$\text{minimize} \quad y_0(\mathbf{x}) \quad (10)$$

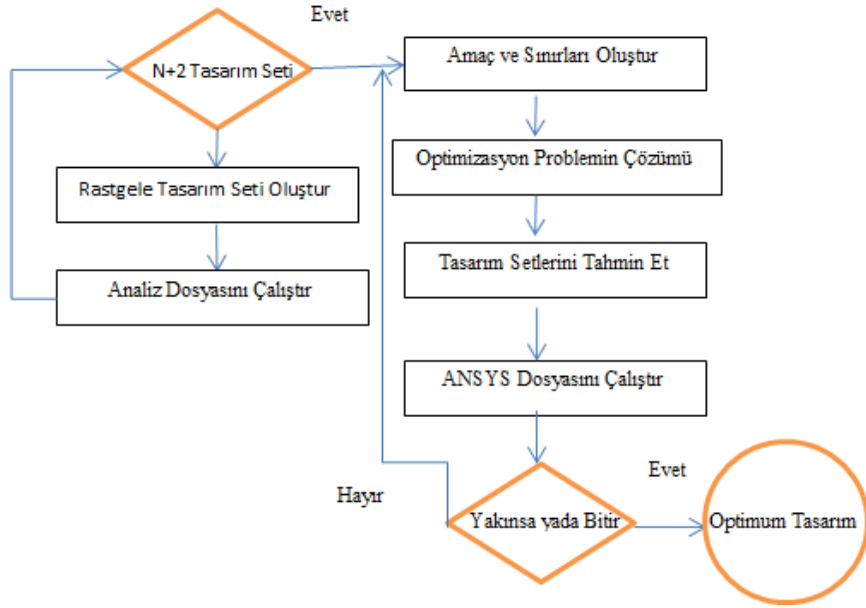
$$\text{amaç:} \quad y_j(\mathbf{x}) \leq 0 \quad (j = 1, \dots, n_c) \quad (11)$$

$$\text{tasarım aralığı} \quad x_{ij} \leq x_i \leq x_{iu} \quad (i = 1, \dots, N) \quad (12)$$

Amaç fonksiyonu, $y_0(\mathbf{X})$, kısıtlama işlevleri ve tasarım değişkenlerinin vektörü $y_j(\mathbf{X}) \quad j=1, \dots, n_c$ ve $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_N]$ tasarım değişkenlerinin vektörüdür. x_{il} ve x_{iu} tasarım değişkenleri

üzerindeki fiziksel üst ve alt sınırları tanımlar. n_c ve N sırasıyla kısıtlamaların sayısı ve tasarım değişkenlerinin sayısıdır. Şekil optimizasyonu için Denklemlerin Çözümü (10) - (12), objektif ve kısıtlama fonksiyonlarının Tepki Yüzeyi (YY) yaklaşımlarıyla değiştirilmesiyle verimli bir şekilde yapılabilir. Yaklaşımlarla optimizasyon, genellikle literatürde yaklaşık optimizasyon olarak ifade edilir. ANSYS DO modülünde uygulanan ve bu çalışmada kullanılan yaklaşık optimizasyon

yöntemi Şekil 4'te gösterilmiştir. ANSYS DO modülü, nesnel ya da kısıtlama işlevi için polinom YY yaklaşımı üretir ve kullanır.

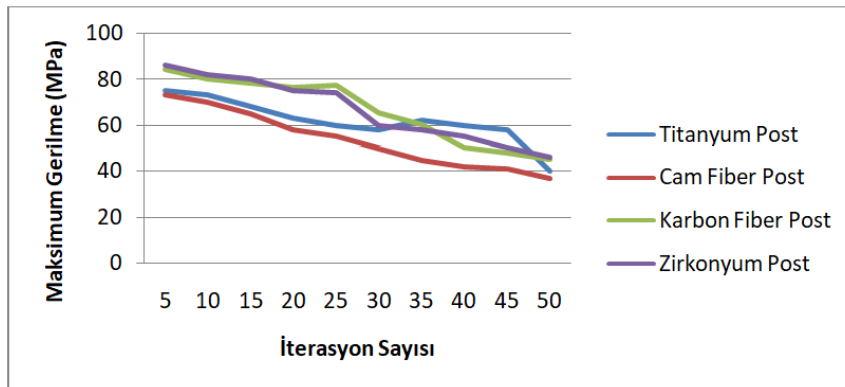


Şekil 4. Optimizasyon Akış Şeması

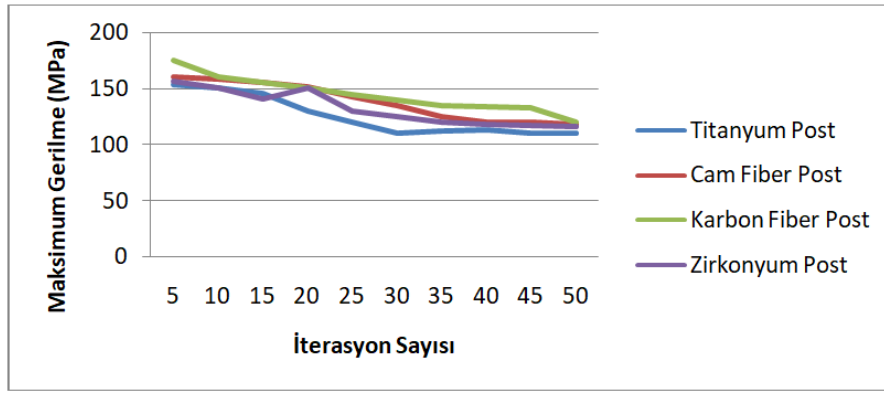
3. Bulgular

Optimizasyon sürecinde meydana gelen maksimum gerilme değerleri ve tasarım optimizasyon yöntemi kullanılarak tasarım parametreleri için optimizasyon grafikleri Şekil 5-7'de gösterilmiştir. Şekil 5'te çene kemiğinde meydana gelen maksimum gerilme değerlerin post için 4 farklı malzeme kullanıldığında optimizasyon sürecinde meydana gelen değerleri göstermektedir. Şekil 6'da post şeklinde meydana gelen maksimum gerilme değerlerin iterasyonla değişimi gösterilmektedir.

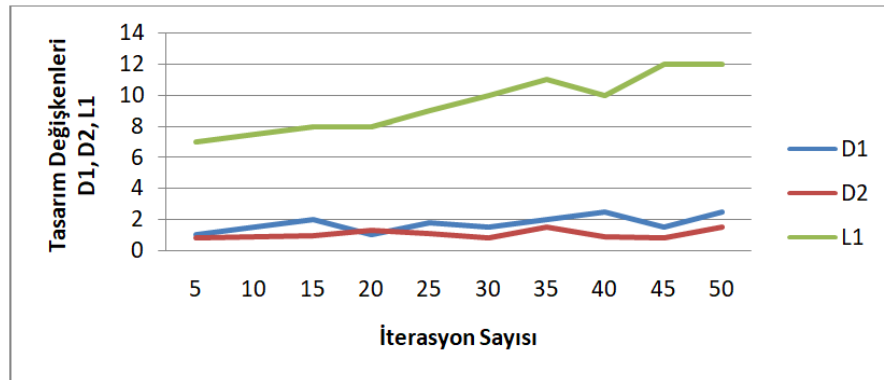
Şekil 7'de tasarım değişkenlerinin iterasyonla değişimini göstermektedir. Optimum post geometrisi, 50 optimizasyon iterasyonundan sonra bulunmuştur. Şekil 8'de gösterilmiştir. Hesaplama maliyetini düşürmek için optimizasyon süreci 50 iterasyonla sınırlandırılmıştır. Daha fazla yineleme daha iyi bir tasarım sağlayabilir. Optimum şekil, gerilme değerlerini en aza indirir ve postun yorulma ömrünü en üst düzeye çıkarır. Şekil 8'den optimum post şeklinin D1 çapının 2.3 mm, D2 çapının 1.5 mm ve L1 boyunun 10 mm olduğu görülmektedir.



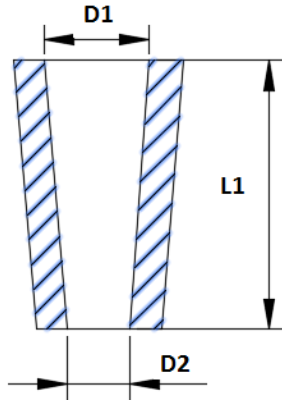
Şekil 5. Çene kemiğinde meydana gelen maksimum değerlerin iterasyonla değişimi



Şekil 6. Post şeklinde meydana gelen maksimum değerlerin iterasyonla değişimi



Şekil 7. Tasarım değişkenlerinin iterasyonla değişimi



Şekil 8. Optimum post şekli

Çene kemiğinde gelen gerilme, post şekli üzerinde meydana gelen gerilme değerine göre daha azdır. Tek tek parçalar için sonuçları karşılaştırmak için, boyutsuz bir parametre kullanılmalıdır. Bu parametre stres/akma gerilmesi olarak seçilmiştir. Tablo 2'de değerler görülmektedir.

Post core sistemlerinde tasarım analizi yapılırken post ile çene kemiği arasında kullanılan yapıştırıcının da analiz edilmesi gerekir. Postün diş kökünde sağlam bir şekilde durmasını sağlayan yapıştırıcıdır. Öyleki yapıştırıcı ve post ara yüzü iyi irdelenmelidir. Bu ara yüzde meydana gelen mikro

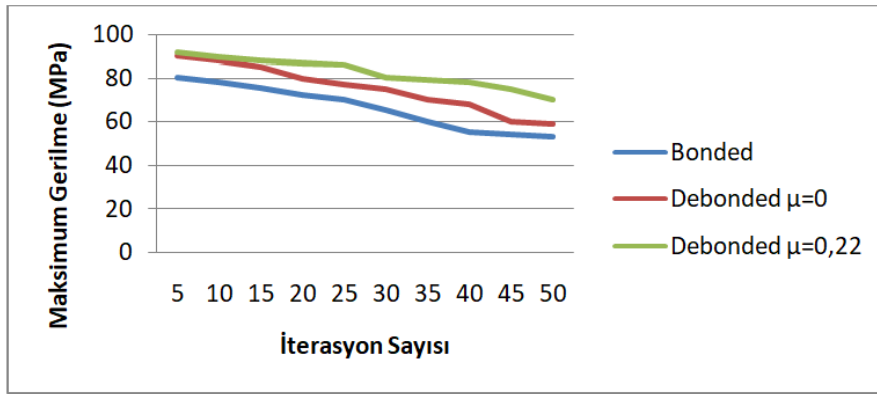
çatlaklar zamanla ilerleyerek postün kök içinde sağlam durmasını engelleyecek ve zamanla çiğnemenin etkisiyle postün kırılmasına neden olacaktır. Bu amaçla kullanılan 3 farklı ara yüz modelinde oluşan gerilmeler Şekil 9 ve 10'da gösterilmektedir. Bonded temas algoritması kullanılan modelde meydana gelen gerilme değerleri diğer kullanılan Debonded temas algoritması $\mu=0,22$ sürtünme katsayısına sahip ve Debonded temas algoritması $\mu=0$ sürtünme katsayısına sahip modelde meydana gelen gerilme değerleri daha düşüktür. Şekil 9'da üç farklı ara yüz modeli oluşturularak çene kemiğinde meydana gelen gerilme değerleri ile Şekil 10'da post şekli üzerinde meydana gelen gerilme değerleri gösterilmektedir. Sonlu elemanlar analizi, araştırılan parametreler değiştiğinde diş restorasyon kompleksinde indüklenen gerilmelerde önemli değişiklikler gösterdi. Sadece mine ve dentin değil, aynı zamanda kemik dokuları, periodontal ligament ve üç boyutlu katı elemanlar kullanılarak yapıştırıcı ara yüzlerini mekanik olarak karakterize etmemizi mümkün kıldı. Farklı yükleme koşulları altında, dişler ve diş restorasyonlarında meydana gelen gerilme ve gerinim dağılımlarını değerlendirmemize olanak sağladı. Klinik başarısızlık riski altında olan tahmin bölgelerini hipotezlememize yardımcı oldu.

Bu çalışma, optimizasyon tekniklerinin ve farklı malzeme modellerinin, ara yüzde meydana gelen gerilmelerin azaltılması için optimize edilmiş post

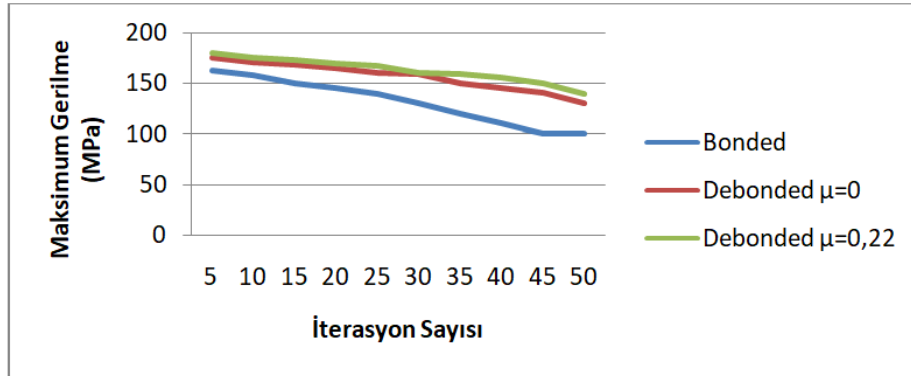
core sisteminin bileşen tasarımlarını elde etmek için tamamen 3-boyutlu gerilme analizi modeli ile birleştirilebileceğini göstermektedir.

Tablo 2. Boyutsuz parametre

Parça	Gerilme/Akma gerilmesi
Titanyum post	0.184
Cam fiber post	0.154
Karbon fiber post	0.215
Zirkonyum post	0.189
Çene kemiği (Titanyum post)	0.126
Çene kemiği (Cam fiber post)	0.181
Çene kemiği (Karbon fiber post)	0.176
Çene kemiği (Zirkonyum post)	0.153



Şekil 9. Çene kemiğinde meydana gelen gerilme (3 farklı arayüz şartlarında)



Şekil 10. Post şekli üzerinde meydana gelen gerilme (3 farklı arayüz şartlarında)

4. Tartışma ve sonuç

Sonlu elemanlar analizi, karmaşık yapılarda gerilme dağılımlarının hesaplanmasında güçlü bir araçtır. Daha önce belirtildiği gibi, yöntem varyasyon olmadan sonuç sağlar. Bununla birlikte, çalışmanın geçerliliği, modelin gerçekliğe yaklaşma derecesine bağlıdır. Sonlu elemanlar analizi, incelenen parametreler değiştiğinde diş restorasyon kompleksinde indüklenen streslerde önemli değişiklikler olduğunu gösterdi. Üç boyutlu katı elementler kullanarak yalnızca enamel ve

dentin değil aynı zamanda kemik dokuları, periodontal ligament ve yapışkan arayüzleri mekanik olarak karakterize etmek mümkündür. Fonksiyonel yüklemde, maksimum eşdeğer gerilme çoğunlukla yapıştırıcı tabakasının vestibüler tarafında meydana gelir. Bukkal boydan yatay yüklem artmış ve dikey yükler maksimum gerilmeyi azaltmıştır.

Yapıştırılmış restorasyonların yapışkan ara yüzleri oklüzal kuvvetleri kalan diş yapılarına homojen olarak iletir ve dağıtır ve kırılmaya karşı direncini

arttırır. Öte yandan, farklı elastikiyet modüllerine sahip malzemelerin ara yüzleri, tokluk uyumsuzluğu stres dağılımını etkilediğinden restoratif sistemin zayıf noktasını temsil etmektedir. Dentin tabakada biyomekanik özelliklere sahip bir post core, dişlerin kök kırılma riskini azaltarak avantajlı olabilir. Dişin doğal fonksiyonuna karşı çalışan çok sert bir post core hem dentin içinde, hem de kemik çimentosu ve direkte ara yüzeylerinde gerilme ve kayma bölgeleri oluşturur. Bu çalışmada, düşük elastik modüllü bir yapışkan reçine çimentosu ile bağlanmış cam elyaf post core ile minimum gerilme değerleri elde edilmiştir.

Cam ve karbon post core, yüksek yorulma ve çekme dayanımı sergilerler ve dentin'yle karşılaştırılabilecek bir Young modülüne sahiptirler. Ayrıca, bu direkler yapışkan kanallı çimento ile kök kanalına yapıştırılabilir. Bağlanma ajanları post ile kök yapısı arasında stres ileterek, stres konsantrasyonunu azaltır ve kırılmayı önler. Post core ve çimento arasında ve çimento ile dentin arasında bağlanma, endodontik restorasyonların optimum davranışını sağlamak için önemli bir parametre olarak görünmektedir. Aksine, çelik post core ve geleneksel çimentolar homojen bir stres dağılımına izin vermez. Çimento yapışmasının en zayıf bileşen olduğuna inanılmaktadır ve bu bileşendeki kırılma, kompleks yapıdaki gerilme dağılımında değişikliklere neden olmaktadır. Test edilen hipotez, protez uygulanmış dişlerin çimento kırma işlemlerinin post-ve core'ların elastik özelliklerinden etkilendiği şeklinde olmuştur.

Genel bir sonuç, post core sistemini hastaya uygulanmadan önce bilgisayar modelleri ile tasarlanıp çalışılabilmesidir. Bu prosedür, tasarım süresini azaltırken yanlış yapılan uygulamanın neden olduğu kalıcı hasarı önlemeye yardımcı olur.

Kaynaklar

Assif, D., Nissan J., Gafni Y. and Gordon M., (2003). Assessment of the resistance to fracture of endodontically treated molars restored with amalgam. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 89, 462-475. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(02\)52748-7](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(02)52748-7)

Assif, D. and Gorfil, C., (1994). Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 71, 565-577. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(94\)90438-3](https://doi.org/10.1016/0022-3913(94)90438-3)

Baratieri, L.N., De Andrada M.A., Arcari G.M. and Ritter, A.V., (2000). Influence of post placement in the fracture resistance of endodontically

treated incisors veneered with direct composite. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 84, 180-184. <https://doi.org/10.1067/mpr.2000.108415>

Daisuke, T., Teruo, I., Hidetoshi, O., Tomonori, I. and Masanori, F., (2019). Influence of elastic modulus mismatch between dentin and post-and-core on sequential bonding failure. *Journal of Prosthodontic Research*, 63, 227-231. <https://doi.org/10.1016/j.jprior.2018.12.003>

Darendeliler, S.Y., Alacam, T. And Yaman, Y., (1998). Analysis of stress distribution in a maxillary central incisor subjected to various post and core applications. *Journal of Endodontology*, 24, 107- 111. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(98\)80087-3](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(98)80087-3)

De Castro, A.R., De Abreu, L.T., Fontana, T.S. and Cimini, C.A., (2003). Stress analysis of an upper central incisor restored with different posts. *Journal of Oral Rehabilitation*, 30, 936-943. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.2003.01154.x>

Fennis, W.M., Kuijs, R.H., Kreulen, C.M., Roeters, F.J., Creugers, N.H. and Burgersdijk, R.C., (2002). A survey of cusp fractures in a population of general dental practices. *International Journal of Prosthodontic*, 15, 559- 563.

Genovese, K., Lamberti, L. and Pappalettere, C., (2005). Finite element analysis of a new customized composite post system for endodontically treated teeth. *Journal of Biomechanics*, 38, 2375-2389. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.10.009>.

Hansen, E.K., Asmussen, E. and Christiansen, N.C., (1990). In vivo fractures of endodontically treated anterior teeth restored with amalgam. *Endodontic Dental Traumatology*, 10, 49-55. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1990.tb00389.x>

Heydecke, G., Butz, F., Hussein, A. and Strub, J.R., (2002). Fracture strength after dynamic loading of endodontically treated teeth restored with different post and core systems. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 87, 438-445. <https://doi.org/10.1067/mpr.2002.123849>

Isidor, F., Brondum, K. and Ravnholt, G., (1999). The influence of post length and crown ferrule length on the resistance to cyclic loading of bovine teeth with prefabricated titanium posts. *International Journal of Prosthodontic*, 12, 78-82.

Kalay, T.S., Yildirim, T. and Ulker, M., (2016). Effects of different cusp coverage restorations on the fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 116, 404-10. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.02.007>

- Kayabaşı, O., Yüzbasıoğlu, E., ve Erzincanlı, F., (2006). Static, dynamic and fatigue behaviors of dental implant using finite element method. *Advances in Engineering Software*, 37, 649–658. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2006.02.004>
- Kayabasi O., (2020). Design methodology for dental implant using approximate solution techniques. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 121, 684-695. <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2020.01.003>
- Lanza, A., Aversab, R., Rengob, S., Apicellaa, D. and Apicella, A., (2005). 3D fea of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor. *Dental Materials*, 21, 709–715. DOI: 10.1016/j.dental.2004.09.010
- Llena, M.C., Forner, L. and Barbero, I., (2001). Vertical root fracture in endodontically treated teeth: a review of 25 cases. *Oral Surgery Oral Medical Oral Pathology Oral Radiology Endodonlogy*, 92, 553-565. <https://doi.org/10.1067/moe.2001.117262>
- Martinez, A., da Silva L., Rilo, B. and Santana, U., (1998). Comparison of the fracture resistances of pulpless teeth restored with a cast post and core or carbon-fiber post with a composite core. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 80, 527-532. [https://doi.org/10.1016/s0022-3913\(98\)70027-7](https://doi.org/10.1016/s0022-3913(98)70027-7)
- Mojtaba, M., Reza S., Parviz A. and Maryam A.H., (2017). Influence of in homogeneous dental posts on stress distribution in tooth root and interfaces three-dimensional finite element analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 6, 742-751. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.01.002>
- Ona, M., Wakabayashi, N., Yamazaki, T., Takaich, i A. and Igarashi, Y., (2013). The influence of elastic modulus mismatch between tooth and post and core restorations on root fracture. *International Endodontology*, 46, 47–52. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2012.02092.x>
- Sahafi, A., Peutzfeldt, A., Ravnholt, G., Asmussen, E. and Gotfredsen, K., (2005). Resistance to cyclic loading of teeth restored with posts. *Clinical Oral Investigation*, 9, 84-90. <https://doi.org/10.1007/s00784-004-0299-7>
- Stockton, L., Lavelle, C.L., ve Suzuki M., (1998). Are posts mandatory for the restoration of endodontically treated teeth? *Endodontic Dentistry Traumatology*, 14, 59-63. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1998.tb00810.x>
- Testori, T., Badino, M. and Castagnola, M., (1993). Vertical root fractures in endodontically treated teeth: a clinical survey of 36 cases. *Journal of Endodontology*, 19, 87-91. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)81202-1](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)81202-1)
- Yang, H.S., Lang, L.A., Guckes, A.D. and Felton D.A., (2002). The effect of thermal change on various dowel-and-core restorative materials. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 86,74–80. <https://doi.org/10.1067/mpr.2001.115503>
- Zarone, F., Apicella, D., Sorrentino, R., Ferro, V., Aversa, R. and Apicella, A., (2005). Influence of tooth preparation design on the stress distribution in maxillary central incisors restored by means of alumina porcelain veneers: a 3d-finite element analysis. *Dental Materials*, 21,1178-1188. <https://doi.org/10.1111/jopr.13121>

Mittag-Leffler fonksiyonunu içeren analitik fonksiyonların bazı özellikleri

Some properties of analytic functions involving the Mittag-Leffler function

Asena ÇETİNKAYA*^{1,a}, Oya MERT^{2,b}

¹*İstanbul Kültür Üniversitesi, Matematik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü, 34158, İstanbul, Türkiye*

²*Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Matematik Bölümü, 59030, Tekirdağ, Türkiye*

• Geliş tarihi / Received: 19.01.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 16.02.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 23.02.2021

Öz

Mittag-Leffler fonksiyonu 1903 yılında İsveçli matematikçi Magnus Gustav Mittag-Leffler tarafından tanımlanmıştır. Daha sonra, araştırmacılar farklı parametreler ilave ederek bu fonksiyonu genelleştirmiştir. 2015 yılında, Bansal ve Prajapat, Mittag-Leffler fonksiyonunu normalize etmiş ve bu fonksiyonun açık birim diskte yalınkatlık, yıldızlılık, konvekslik ve konveks yakınlık gibi belirli geometrik özelliklere sahip olduğunu gösteren yeterli koşullar elde etmiştir. Bu araştırma makalesinden sonra, Mittag-Leffler fonksiyonu yalınkat fonksiyonlar teorisi çalışmalarında popüler olmuştur. Bu güncel çalışmada, $S_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$ ile gösterilen Mittag-Leffler fonksiyonunu içeren analitik fonksiyonların yeni bir sınıfı tanımlanmıştır. Ayrıca, bu fonksiyon sınıfının negatif katsayıları içeren bir alt sınıfı da tanımlanmıştır. Bu fonksiyon sınıfı için katsayı tahminleri, büyüme ve distorsiyon teoremleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, bu sınıf için integral eşitsizlikleri de elde edilmiştir. Ayrıca parametrelerin özel değerleri için, bu makalede tanımlanan sınıfların, araştırmacılar tarafından tanımlanan bazı fonksiyon sınıflarına indirgendiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Analitik fonksiyonlar, Katsayı eşitsizliği, Yıldızlı fonksiyonlar

Abstract

The Mittag-Leffler function was defined by Swedish mathematician Magnus Gustav Mittag-Leffler in 1903. Later, researchers generalized this function by including different parameters. In 2015, Bansal and Prajapat normalized the Mittag-Leffler function and get several sufficient conditions so that the Mittag-Leffler function has certain geometric properties such as univalence, starlikeness, convexity and close-to-convexity in the open unit disc. After this research paper, the Mittag-Leffler function became popular in the studies of univalent functions theory. In this current study, we define a new class of analytic functions involving the Mittag-Leffler function denoted by $S_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$. We also introduce a subclass of this function class, which is involving negative coefficients. We introduce coefficient estimates, growth and distortion theorems for this function class. Moreover, we obtain integral mean inequalities for this class. We also conclude that for special values of parameters, the classes introduced in this paper are reduced to the several function classes which are defined by researchers.

Keywords: Analytic functions, Coefficient inequality, Starlike functions

*^a Asena ÇETİNKAYA; asnfigen@hotmail.com, Tel: (0212) 4984141, orcid.org/0000-0002-8815-5642

^b orcid.org/0000-0002-8791-3341

1. Giriş

\mathbb{C} kompleks düzlem olmak üzere $\mathbb{D} = \{z: z \in \mathbb{C} \text{ ve } |z| < 1\}$ açık birim disk olarak tanımlanır. $D \subset \mathbb{C}$ kompleks düzlemde basit bağlantılı bir bölge olmak üzere $f: D \rightarrow \mathbb{C}$ fonksiyonu bire-bir ise f fonksiyonuna yalınkat fonksiyon denir. \mathbb{D} açık birim diskinde analitik ve $f(0) = 0$ ve $f'(0) = 1$ koşullarını sağlayan f fonksiyonuna normalize edilmiş analitik fonksiyon denir. \mathbb{D} açık birim diskinde normalize edilmiş analitik fonksiyonların sınıfı \mathcal{A} ile gösterilir ve her $f \in \mathcal{A}$ fonksiyonu

$$f(z) = z + \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^n \tag{1}$$

şeklindeki Taylor seri açılımına sahiptir. \mathbb{D} diskinde yalınkat ve \mathcal{A} sınıfının altkümeleri olan fonksiyonlar sınıfı S ile gösterilir. Basit bağlantılı bir $D \subset \mathbb{C}$ bölgesinde bir z_0 noktası verilsin. z_0 noktasını her $z \in D$ noktasına birleştiren doğru parçası D bölgesinin sınırını yalnız bir noktada kesiyorsa D bölgesine z_0 noktasına göre yıldızlı bölge denir. Eğer z_0 noktası orjinde ise bu bölgeye orjine göre yıldızlı bölge denir. S sınıfının bir alt sınıfı olan ve görüntü bölgesi orjine göre yıldızlı bölge olan fonksiyonlara yıldızlı fonksiyonlar denir. Yıldızlı fonksiyonlar sınıfı S^* ile gösterilir. Analitik olarak, $f \in S^*$ olması için gerek ve yeter şart her $z \in \mathbb{D}$ için

$$Re \left(\frac{zf'(z)}{f(z)} \right) > 0$$

eşitsizliğinin sağlanmasıdır.

Goodman (1991) yaptığı çalışmalarda f fonksiyonunun \mathbb{D} açık birim diskinde bulunan $\xi \in \mathbb{D}$ merkezli her dairesel yayı yıldızlı bir yay üzerine resmettiğini göstermiştir. Bu özellikteki bir $f \in \mathcal{A}$ fonksiyonunu düzgün yıldızlı fonksiyon olarak isimlendirmiştir. S sınıfının bir alt sınıfı olan düzgün yıldızlı fonksiyonlar sınıfı US ile gösterilmiştir. Ronning (1993) düzgün yıldızlı fonksiyonlar sınıfını kapsamlı bir şekilde çalışmıştır. Daha sonra, Kanas ve Wisniowska (2000) $k - US$ ile gösterilen $k -$ düzgün yıldızlı fonksiyonlar sınıfını tanımlamıştır. Bu sınıfa ait $f \in \mathcal{A}$ fonksiyonları

$$Re \left(\frac{zf'(z)}{f(z)} \right) > k \left| \frac{zf'(z)}{f(z)} - 1 \right| \quad (k \geq 0; z \in \mathbb{D})$$

analitik kriterini sağlamaktadır. $k = 1$ özel durumu için $1 - US \equiv US$ sınıfı elde edilir. Ayrıca, $k = 0$ için $0 - US \equiv S^*$ olduğu açıktır.

Bharati vd., (1997) $k -$ düzgün yıldızlı fonksiyonlar sınıfını genelleştirmiş ve $k - US(\delta)$ ile gösterilen δ mertebeden $k -$ düzgün yıldızlı fonksiyonlar sınıfını tanımlamıştır. Bu sınıf Tanım 1.1 ile ifade edilmiştir.

Tanım 1.1. f fonksiyonu (1) formunda tanımlı bir fonksiyon olmak üzere

$$Re \left(\frac{zf'(z)}{f(z)} \right) > k \left| \frac{zf'(z)}{f(z)} - 1 \right| + \delta \quad (0 \leq \delta < 1; k \geq 0; z \in \mathbb{D})$$

analitik kriterini sağlıyorsa $k - US(\delta)$ sınıfındadır denir. Özellikle, $k - US(0) \equiv k - US$ olduğu açıktır.

\mathbb{D} diskinde pozitif reel kısma sahip, analitik ve $p(0) = 1$ koşulunu sağlayan p fonksiyonlarının sınıfı \mathcal{P} ile gösterilmektedir. Bu sınıfa Caratheodory sınıfı denir. \mathbb{D} diskinde analitik, her $z \in \mathbb{D}$ için $w(0) = 0$ ve $|w(z)| < 1$ koşullarını sağlayan w fonksiyonlarının sınıfı Ω ile gösterilmektedir. Bu sınıfa ait fonksiyonlar Schwarz fonksiyonu olarak adlandırılır. f_1 ve f_2 fonksiyonları \mathbb{D} diskinde analitik fonksiyonlar olmak üzere, her $z \in \mathbb{D}$ için $f_1(z) = f_2(w(z))$ olacak şekilde bir $w \in \Omega$ fonksiyonu varsa, f_1 fonksiyonu f_2 fonksiyonuna sabordinedir denir ve $f_1 < f_2$ ile gösterilir (Duren, 1983).

$f_1(z) = z + \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^n$ ve $f_2(z) = z + \sum_{n=2}^{\infty} b_n z^n$ fonksiyonları \mathcal{A} sınıfının elemanları olmak üzere, bu fonksiyonların Hadamard çarpımı (veya konvolüsyonu)

$$f_1(z) * f_2(z) = (f_1 * f_2)(z) = z + \sum_{n=2}^{\infty} a_n b_n z^n$$

ile gösterilir.

Janowski (1973) sabordinasyon koşullarını kullanarak $\mathcal{P}(A, B)$ sınıfını tanımlamıştır. $p(0) = 1$ koşulunu sağlayan bir p analitik fonksiyonunun $\mathcal{P}(A, B)$ sınıfına ait olması için gerek ve yeter koşul her $z \in \mathbb{D}$ için

$$p(z) < \frac{1 + Az}{1 + Bz} \quad (-1 \leq B < A \leq 1)$$

şartının sağlanmasıdır. Geometrik olarak, bir $p \in \mathcal{P}(A, B)$ fonksiyonu \mathbb{D} diskini

$$\psi(A, B) := \left\{ w : \left| w - \frac{1 - AB}{1 - B^2} \right| < \frac{A - B}{1 - B^2} \right\}$$

ile tanımlı $\psi(A, B)$ bölgesine resmeder. Bu bölge, reel ekseninde çap uç noktaları $D_1 = \frac{1-A}{1-B}$ ve $D_2 = \frac{1+A}{1+B}$ ($0 < D_1 < 1 < D_2$) olan açık bir dairesel diski temsil etmektedir.

1903 yılında İsveçli matematikçi Mittag-Leffler

$$E_\alpha(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{z^n}{\Gamma(\alpha n + 1)} \quad (\alpha \in \mathbb{C}; \operatorname{Re}(\alpha) > 0)$$

fonksiyonunu tanımlamıştır (Mittag-Leffler, 1903). Burada $\Gamma(\cdot)$ notasyonu Gama fonksiyonunu belirtir. $E_\alpha(z)$ fonksiyonu Wiman tarafından

$$E_{\alpha,\beta}(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{z^n}{\Gamma(\alpha n + \beta)} \quad (\alpha, \beta \in \mathbb{C}; \operatorname{Re}(\alpha) > 0; \operatorname{Re}(\beta) > 0)$$

olarak genelleştirilmiştir (Wiman, 1905). Daha sonra, Mittag-Leffler fonksiyonu ve onun çeşitli genelleştirmeleri kesirli diferansiyel denklemlerin, Levy uçuş problemlerinin ve diğer başka problemlerin çözümünde kullanılmıştır (Bansal ve Prajapat, 2016; Gorenflo vd., 2014).

1971 yılında Prabhakar, Mittag-Leffler fonksiyonunu genelleştirmiş ve

$$E_{\alpha,\beta}^\gamma(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\gamma)_n}{\Gamma(\alpha n + \beta)} \frac{z^n}{n!} \quad (\alpha, \beta, \gamma \in \mathbb{C}; \operatorname{Re}(\alpha) > 0; \operatorname{Re}(\beta) > 0; \operatorname{Re}(\gamma) > 0) \quad (2)$$

şeklinde tanımlamıştır (Prabhakar, 1971). Burada $(\gamma)_n$ ifadesi

$$(\gamma)_n = \frac{\Gamma(\gamma + n)}{\Gamma(\gamma)} = \begin{cases} 1 & (n = 0) \\ \gamma(\gamma + 1) \dots (\gamma + n - 1) & (n \in \mathbb{N}) \end{cases}$$

ile verilen Pochhammer sembolünü temsil etmektedir. $E_{\alpha,\beta}^\gamma(z)$ fonksiyonu için

$$E_{\alpha,1}^1(z) =: E_\alpha(z) \quad \text{ve} \quad E_{\alpha,\beta}^1(z) =: E_{\alpha,\beta}(z)$$

özel durumları mevcuttur.

(2) ile verilen $E_{\alpha,\beta}^\gamma(z)$ fonksiyonu \mathcal{A} sınıfına ait değildir. $E_{\alpha,\beta}^\gamma(z)$ fonksiyonunun \mathcal{A} sınıfına ait olması için

$$M_{\alpha,\beta}^\gamma(z) = \Gamma(\beta) z E_{\alpha,\beta}^\gamma(z) = z + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Gamma(\beta)(\gamma)_n}{\Gamma(\alpha n + \beta)} \frac{z^{n+1}}{n!}$$

şeklinde normalize edilmiştir. Bu çalışmalardan yola çıkarak Raducanu, $H_{\alpha,\beta}^\gamma f: \mathcal{A} \rightarrow \mathcal{A}$ lineer operatörünü

$$H_{\alpha,\beta}^{\gamma} f(z) = M_{\alpha,\beta}^{\gamma}(z) * f(z) = z + \sum_{n=2}^{\infty} \frac{\Gamma(\beta)(\gamma)_{n-1}}{\Gamma(\alpha(n-1) + \beta)(n-1)!} a_n z^n \tag{3}$$

şeklinde tanımlamıştır (Raducanu, 2017). Burada $H_{0,\beta}^1 f(z) = f(z)$ olduğu açıktır.

2. Materyal ve metot

Sabordinasyon prensibi ve $H_{\alpha,\beta}^{\gamma} f$ operatörü kullanılarak, Mittag-Leffler fonksiyonunu içeren yalınkat fonksiyonların yeni bir sınıfı Tanım 2.1 ile verilmiştir.

Tanım 2.1. $-1 \leq B < A \leq 1$, $k \geq 0$ ve $z \in \mathbb{D}$ olmak üzere (1) formunda tanımlanan f fonksiyonu

$$\frac{z \left(H_{\alpha,\beta}^{\gamma} f(z) \right)'}{H_{\alpha,\beta}^{\gamma} f(z)} - k \left| \frac{z \left(H_{\alpha,\beta}^{\gamma} f(z) \right)'}{H_{\alpha,\beta}^{\gamma} f(z)} - 1 \right| < \frac{1 + Az}{1 + Bz} \tag{4}$$

analitik kriterini sağlıyorsa $S_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$ sınıfındadır denir.

$A, B, \alpha, \beta, \gamma$ ve k için özel değerler alınır, yalınkat fonksiyonların bazı bilinen alt sınıfları elde edilir:

1. $A = 1 - 2\delta$, $B = -1$, $\alpha = 0$ ve $\gamma = 1$ değerleri alındığında, $S_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$ sınıfı $k - US(\delta)$ sınıfına indirgenir (Bharati vd., 1997).
2. $A = 1, B = -1$, $\alpha = 0$ ve $\gamma = 1$ değerleri alındığında, $S_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$ sınıfı $k - US$ sınıfına indirgenir (Kanas ve Wisniowska, 2000).
3. $k = 0$, $\alpha = 0$ ve $\gamma = 1$ değerleri alındığında, $S_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$ sınıfı $S^*(A, B)$ sınıfına indirgenir (Janowski, 1973).

Tanım 2.2. $f \in \mathcal{A}$ olmak üzere negatif katsayılara sahip

$$f(z) = z - \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^n, \quad a_n \geq 0 \tag{5}$$

fonksiyonlarının sınıfı T ile gösterilir. Bu sınıf negatif katsayılı fonksiyonlar sınıfı olarak adlandırılır ve S sınıfının bir alt sınıfıdır (Silverman, 1975). T ve $S_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$ sınıfları göz önüne alınarak, $S_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$ sınıfının bir alt sınıfı olan negatif katsayılı fonksiyonların sınıfı

$$TS_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B) := T \cap S_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$$

olarak tanımlanmıştır.

$A, B, \alpha, \beta, \gamma$ ve k için özel değerler alınır, bazı bilinen alt sınıflar elde edilir:

1. $A = 1 - 2\delta$, $B = -1$, $\alpha = 0$ ve $\gamma = 1$ değerleri alındığında, $TS_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$ sınıfı $k - TUS(\delta)$ sınıfına indirgenir (Bharati vd., 1997).
2. $A = 1 - 2\delta$, $B = -1$, $k = 0$, $\alpha = 0$ ve $\gamma = 1$ değerleri alındığında, $TS_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$ sınıfı $TS^*(\delta)$ sınıfına indirgenir (Silverman, 1975).

Littlewood, sabordine olan iki analitik fonksiyonun arasındaki integral ilişkisini (Littlewood,1925) makalesinde ispatlamıştır. Bu ilişki Önerme 2.3 ile verilmiştir.

Önerme2.3. f_1 ve f_2 fonksiyonları \mathbb{D} birim diskinde analitik olmak üzere $f_1(z) < f_2(z)$ şartı sağlanıyorsa, $p > 0$ ve $z = re^{i\theta}$ ($0 < r < 1$) için

$$\int_0^{2\pi} |f_1(z)|^p d\theta \leq \int_0^{2\pi} |f_2(z)|^p d\theta \tag{6}$$

integral eşitsizliği sağlanır.

Bu makalede, Mittag-Leffler fonksiyonunu içeren ve $S_{\alpha,\beta}^\gamma(k, A, B)$ ile gösterilen analitik fonksiyonların yeni bir sınıfı tanımlanmıştır. Bu yeni sınıfın, negatif katsayılı fonksiyonlara sahip ve $TS_{\alpha,\beta}^\gamma(k, A, B)$ ile gösterilen bir alt sınıfı da tanımlanmıştır. Bu sınıf için katsayı tahminleri, büyüme ve distorsiyon teoremleri elde edilmiştir. Ayrıca, Önerme 2.3. kullanılarak bu sınıfa ait ve sabordine olan iki analitik fonksiyon arasındaki integral eşitsizliği de verilmiştir.

3. Bulgular

Teorem 3.1.' de (1) formunda verilen bir f fonksiyonunun $S_{\alpha,\beta}^\gamma(k, A, B)$ sınıfına ait olması için yeter koşul verilmiştir.

Teorem 3.1. (1) formunda tanımlanan f fonksiyonu

$$\sum_{n=2}^{\infty} \{(1 + k(1 + |B|))(n - 1) + |Bn - A|\} \Psi_n |a_n| \leq A - B \tag{7}$$

eşitsizliğini sağlıyorsa $S_{\alpha,\beta}^\gamma(k, A, B)$ sınıfına aittir. Burada

$$\Psi_n = \frac{\Gamma(\beta)(\gamma)_{n-1}}{\Gamma(\alpha(n - 1) + \beta)(n - 1)!} \tag{8}$$

İspat. (7) ile verilen eşitsizliğin sağlandığını varsayalım. Burada $f \in S_{\alpha,\beta}^\gamma(k, A, B)$ olduğunu göstereceğiz. Teoremi kanıtlamak için $\left| \frac{p(z)-1}{A-Bp(z)} \right| \leq 1$ eşitsizliğinin sağlandığını göstermek yeterlidir. (4) ile verilen ifade göz önüne alınarak

$$p(z) = \frac{z \left(H_{\alpha,\beta}^\gamma f(z) \right)'}{H_{\alpha,\beta}^\gamma f(z)} - k \left| \frac{z \left(H_{\alpha,\beta}^\gamma f(z) \right)'}{H_{\alpha,\beta}^\gamma f(z)} - 1 \right|$$

olduğu görülür. Verilen eşitsizlik ve (3) ifadesi kullanılarak

$$\begin{aligned} \left| \frac{p(z) - 1}{A - Bp(z)} \right| &= \left| \frac{z \left(H_{\alpha,\beta}^\gamma f(z) \right)' - H_{\alpha,\beta}^\gamma f(z) - ke^{i\theta} \left| z \left(H_{\alpha,\beta}^\gamma f(z) \right)' - H_{\alpha,\beta}^\gamma f(z) \right|}{AH_{\alpha,\beta}^\gamma f(z) - B \left[z \left(H_{\alpha,\beta}^\gamma f(z) \right)' - ke^{i\theta} \left| z \left(H_{\alpha,\beta}^\gamma f(z) \right)' - H_{\alpha,\beta}^\gamma f(z) \right| \right]} \right| \\ &= \left| \frac{\sum_{n=2}^{\infty} (n - 1) \Psi_n a_n z^n - ke^{i\theta} \left| \sum_{n=2}^{\infty} (n - 1) \Psi_n a_n z^n \right|}{(A - B)z - \sum_{n=2}^{\infty} (Bn - A) \Psi_n a_n z^n + Bke^{i\theta} \left| \sum_{n=2}^{\infty} (n - 1) \Psi_n a_n z^n \right|} \right| \\ &\leq \frac{\sum_{n=2}^{\infty} (n - 1) \Psi_n |a_n| |z|^n + k \sum_{n=2}^{\infty} (n - 1) \Psi_n |a_n| |z|^n}{(A - B)|z| - \sum_{n=2}^{\infty} |Bn - A| \Psi_n |a_n| |z|^n - k|B| \sum_{n=2}^{\infty} (n - 1) \Psi_n |a_n| |z|^n} \end{aligned}$$

$$\leq \frac{\sum_{n=2}^{\infty} (n-1)(1+k) \Psi_n |a_n|}{(A-B) - \sum_{n=2}^{\infty} |Bn-A| \Psi_n |a_n| - k|B| \sum_{n=2}^{\infty} (n-1) \Psi_n |a_n|}$$

elde edilir. Eşitsizlikte son satır üstten 1 ile sınırlıdır. Buradan yola çıkarak

$$\sum_{n=2}^{\infty} \{(1+k(1+|B|))(n-1) + |Bn-A|\} \Psi_n |a_n| \leq A-B$$

elde edilir. Bu da $f \in S_{\alpha,\beta}^Y(k,A,B)$ olduğunu gösterir. Böylece ispat tamamlanır.

Teorem 3.2.' de (7) ile verilen eşitsizliğin (5) formundaki f fonksiyonlarının $TS_{\alpha,\beta}^Y(k,A,B)$ sınıfına ait olması için gerek koşul olduğu da gösterilmiştir.

Teorem 3.2. $f \in T$ olsun. O halde, $f \in TS_{\alpha,\beta}^Y(k,A,B)$ olması için gerek ve yeter koşul

$$\sum_{n=2}^{\infty} \{(1+k(1+|B|))(n-1) + |Bn-A|\} \Psi_n a_n \leq A-B \tag{9}$$

eşitsizliğinin sağlanmasıdır. Burada Ψ_n değeri (8) denklemi ile verilir.

İspat. Teorem 3.1 göz önüne alınarak, Teorem 3.2' nin ispatında gerek koşulu vermek yeterli olacaktır. $TS_{\alpha,\beta}^Y(k,A,B) \subset S_{\alpha,\beta}^Y(k,A,B)$ olduğundan $f \in TS_{\alpha,\beta}^Y(k,A,B)$ fonksiyonları için

$$p(z) = \frac{z \left(H_{\alpha,\beta}^Y f(z) \right)'}{H_{\alpha,\beta}^Y f(z)} - k \left| \frac{z \left(H_{\alpha,\beta}^Y f(z) \right)'}{H_{\alpha,\beta}^Y f(z)} - 1 \right|$$

ifadesi

$$\left| \frac{p(z) - 1}{A - Bp(z)} \right| \leq 1$$

eşitsizliğinde yerine yazılarak ve gerekli hesaplamalar yapılarak

$$\begin{aligned} \left| \frac{p(z) - 1}{A - Bp(z)} \right| &= \left| \frac{z \left(H_{\alpha,\beta}^Y f(z) \right)' - H_{\alpha,\beta}^Y f(z) - ke^{i\theta} \left| z \left(H_{\alpha,\beta}^Y f(z) \right)' - H_{\alpha,\beta}^Y f(z) \right|}{AH_{\alpha,\beta}^Y f(z) - B \left[z \left(H_{\alpha,\beta}^Y f(z) \right)' - ke^{i\theta} \left| z \left(H_{\alpha,\beta}^Y f(z) \right)' - H_{\alpha,\beta}^Y f(z) \right| \right]} \right| \\ &= \left| \frac{\sum_{n=2}^{\infty} (n-1) \Psi_n a_n z^n + ke^{i\theta} \left| \sum_{n=2}^{\infty} (n-1) \Psi_n a_n z^n \right|}{(A-B)z + \sum_{n=2}^{\infty} (Bn-A) \Psi_n a_n z^n + Bke^{i\theta} \left| \sum_{n=2}^{\infty} (n-1) \Psi_n a_n z^n \right|} \right| \end{aligned}$$

elde edilir. $Re(z) \leq |z|$ eşitsizliği kullanılarak

$$Re \left(\frac{\sum_{n=2}^{\infty} (n-1) \Psi_n a_n z^n + ke^{i\theta} \left| \sum_{n=2}^{\infty} (n-1) \Psi_n a_n z^n \right|}{(A-B)z + \sum_{n=2}^{\infty} (Bn-A) \Psi_n a_n z^n + Bke^{i\theta} \left| \sum_{n=2}^{\infty} (n-1) \Psi_n a_n z^n \right|} \right) \leq 1$$

elde edilir. z reel sayı seçilerek ve $z \rightarrow 1^-$ alınarak

$$\sum_{n=2}^{\infty} \{(1 + k(1 - B))(n - 1) - (Bn - A)\} \Psi_n a_n \leq A - B$$

veya buna denk olarak

$$\sum_{n=2}^{\infty} \{(1 + k(1 + |B|))(n - 1) + |Bn - A|\} \Psi_n a_n \leq A - B$$

elde edilir. Böylece ispat tamamlanır

Sonuç 3.3. (5) formunda verilen f fonksiyonu $TS_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$ sınıfına ait olsun. O halde, her $n \geq 2$ için

$$a_n \leq \frac{A - B}{\left((1 + k(1 + |B|))(n - 1) + |Bn - A| \right) \Psi_n}$$

sağlanır. Burada Ψ_n ifadesi (8) ile verilmektedir. Bu sonuç

$$f(z) = z - \frac{A - B}{\left((1 + k(1 + |B|))(n - 1) + |Bn - A| \right) \Psi_n} z^n \quad (n \geq 2)$$

fonksiyonu için kesindir.

$TS_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$ sınıfının büyüme ve distorsiyon teoremleri sırasıyla aşağıdaki gibi verilmiştir.

Teorem 3.4. (5) formunda verilen f fonksiyonu $TS_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$ sınıfına ait olsun. O halde

$$\Psi_2 = \frac{\Gamma(\beta)\gamma}{\Gamma(\alpha + \beta)}$$

olmak üzere

$$|f(z)| \geq |z| - \frac{A - B}{\left((1 + k(1 + |B|)) + |2B - A| \right) \Psi_2} |z|^2,$$

$$|f(z)| \leq |z| + \frac{A - B}{\left((1 + k(1 + |B|)) + |2B - A| \right) \Psi_2} |z|^2$$

eşitsizlikleri sağlanır. Bu eşitsizlikler kesindir.

İspat. Teorem 3.2.' de verilen (9) eşitsizliği göz önüne alınarak

$$\varphi(n) = \left((1 + k(1 + |B|))(n - 1) + |Bn - A| \right) \Psi_n$$

fonksiyonu seçilirse, $\varphi(n)$ ($n \geq 2$) fonksiyonunun artan bir fonksiyon olduğu görülür, çünkü

$$\varphi(2) \sum_{n=2}^{\infty} |a_n| \leq \sum_{n=2}^{\infty} \varphi(n) |a_n| \leq A - B$$

olduğu açıktır. Böylece

$$\sum_{n=2}^{\infty} |a_n| \leq \frac{A - B}{\varphi(2)}$$

eşitsizliği yazılabilir. Buradan yola çıkarak

$$\begin{aligned} |f(z)| &\leq |z| + \sum_{n=2}^{\infty} |a_n| |z|^n \leq |z| + |z|^2 \sum_{n=2}^{\infty} |a_n| \\ &\leq |z| + \frac{A - B}{\left((1 + k(1 + |B|)) + |2B - A| \right) \Psi_2} |z|^2 \end{aligned}$$

olduğu ispatlanır. Benzer şekilde

$$\begin{aligned} |f(z)| &\geq |z| - \sum_{n=2}^{\infty} |a_n| |z|^n \geq |z| - |z|^2 \sum_{n=2}^{\infty} |a_n| \\ &\geq |z| - \frac{A - B}{\left((1 + k(1 + |B|)) + |2B - A| \right) \Psi_2} |z|^2 \end{aligned}$$

elde edilir. Bu sonuçlar $|z| = r$ ve $z = r e^{i(2s+1)\pi}$ ($s \in \mathbb{Z}$) olmak üzere

$$f(z) = z - \frac{A - B}{\left((1 + k(1 + |B|)) + |2B - A| \right) \Psi_2} z^2 \tag{10}$$

fonksiyonu için kesindir.

Teorem 3.5. (5) formunda verilen f fonksiyonu $TS_{\alpha, \beta}^{\gamma}(k, A, B)$ sınıfına ait olsun. O halde

$$\begin{aligned} |f'(z)| &\geq 1 - \frac{2(A - B)}{\left((1 + k(1 + |B|)) + |2B - A| \right) \Psi_2} |z| \\ |f'(z)| &\leq 1 + \frac{2(A - B)}{\left((1 + k(1 + |B|)) + |2B - A| \right) \Psi_2} |z| \end{aligned}$$

eşitsizlikleri sağlanır. Bu eşitsizlikler kesindir.

İspat. Teorem 3.2. göz önüne alınarak

$$\varphi(n) = \left((1 + k(1 + |B|))(n - 1) + |Bn - A| \right) \Psi_n$$

fonksiyonu seçilirse, $\frac{\varphi(n)}{n}$ ($n \geq 2$) fonksiyonunun artan bir fonksiyon olduğu görülür, çünkü

$$\frac{\varphi(2)}{2} \sum_{n=2}^{\infty} n |a_n| \leq \sum_{n=2}^{\infty} \frac{\varphi(n)}{n} n |a_n| = \sum_{n=2}^{\infty} \varphi(n) |a_n| \leq A - B$$

olduğu açıktır. Böylece

$$\sum_{n=2}^{\infty} n|a_n| \leq \frac{2(A - B)}{\varphi(2)}$$

elde edilir. Bu durumda

$$|f'(z)| \leq 1 + |z| \sum_{n=2}^{\infty} n|a_n| \leq 1 + \frac{2(A - B)}{\left((1 + k(1 + |B|)) + |2B - A| \right) \Psi_2} |z|$$

bulunur. Benzer şekilde

$$|f'(z)| \geq 1 - |z| \sum_{n=2}^{\infty} n|a_n| \geq 1 - \frac{2(A - B)}{\left((1 + k(1 + |B|)) + |2B - A| \right) \Psi_2} |z|$$

elde edilir. Bu sonuçlar (10) ile verilen fonksiyon için kesindir.

Bu bölümde son olarak, $TS_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$ sınıfına ait sabordine olan iki analitik fonksiyonun arasındaki integral ilişkisi verilecektir.

Teorem 3.6. Farz edelim ki, $f \in TS_{\alpha,\beta}^{\gamma}(k, A, B)$, $p > 0$, $-1 \leq B < A \leq 1$, $k \geq 0$ olsun ve g fonksiyonu

$$g(z) = z - \frac{A - B}{\left((1 + k(1 + |B|)) + |2B - A| \right) \Psi_2} z^2$$

ile tanımlansın. O halde, $z = re^{i\theta}$ ($0 < r < 1$) olmak üzere

$$\int_0^{2\pi} |f(z)|^p d\theta \leq \int_0^{2\pi} |g(z)|^p d\theta$$

integral eşitsizliği sağlanır.

İspat. (5) ile verilen

$$f(z) = z - \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^n, \quad a_n \geq 0.$$

fonksiyonu ve g fonksiyonu (6) bağıntısında yerine yazılarak

$$\int_0^{2\pi} \left| 1 - \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^{n-1} \right|^p d\theta \leq \int_0^{2\pi} \left| 1 - \frac{A - B}{\left((1 + k(1 + |B|)) + |2B - A| \right) \Psi_2} z \right|^p d\theta$$

eşitsizliği elde edilir. Önerme 2.3 kullanılarak

$$1 - \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^{n-1} < 1 - \frac{A - B}{\left((1 + k(1 + |B|)) + |2B - A| \right) \Psi_2} z$$

olduğunu ispatlamak yeterlidir. $w(0) = 0$ ve $|w(z)| < 1$ koşullarını sağlayan w bir Schwarz fonksiyonu olmak üzere, yukarıdaki sabordinasyon

$$1 - \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^{n-1} = 1 - \frac{A - B}{\left((1 + k(1 + |B|)) + |2B - A| \right) \Psi_2} w(z)$$

olarak yazılabilir. Buradan yola çıkarak

$$\begin{aligned} w(z) &= \left| \sum_{n=2}^{\infty} \frac{\left((1 + k(1 + |B|)) + |2B - A| \right) \Psi_2}{A - B} a_n z^{n-1} \right| \\ &\leq |z| \sum_{n=2}^{\infty} \frac{\left((1 + k(1 + |B|)) + |2B - A| \right) \Psi_2}{A - B} a_n \\ &\leq |z| \sum_{n=2}^{\infty} \frac{\left((1 + k(1 + |B|))(n - 1) + |Bn - A| \right) \Psi_n}{A - B} a_n \\ &\leq |z| < 1 \end{aligned}$$

elde edilir. Böylece ispat tamamlanır.

4. Tartışma ve sonuçlar

Bu makalede, Mittag-Leffler fonksiyonunu içeren yalınkat fonksiyonların yeni bir sınıfı tanımlanmıştır. Ayrıca, bu sınıfın negatif katsayıları içeren bir alt sınıfı da tanımlanmıştır. Bu sınıf için katsayı tahminleri, büyüme ve distorsiyon teoremleri elde edilmiştir. Ayrıca, sabordine olan iki analitik fonksiyonun arasındaki integral ilişkisi de elde edilmiştir.

Kaynaklar

Bansal, D. and Prajapat, J. K. (2016). Certain geometric properties of the Mittag-Leffler functions. *Complex Variables and Elliptic Equations*, 61(3), 338-350. <https://doi.org/10.1080/17476933.2015.1079628>

Bharati, R., Parvatham, R. and Swaminathan, A. (1997). On subclasses of uniformly convex functions and corresponding class of starlike functions. *Tamkang Journal of Mathematics*, 28(1), 17-32.

Duren, P. L. (1983). *Univalent Functions*. Springer, 259, XIV- 384.

Goodman, A.W. (1991). On Uniformly Starlike Functions. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 155(2), 364-370.

Gorenflo, R., Kilbas, A.A., Mainardi, F. and Rogosin, S. (2014). Mittag-Leffler functions, related topics and applications. Springer, XIV- 443. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43930-2>

Janowski, W. (1973). Some Extremal problems for certain families of analytic functions I. *Annales Polonici Mathematici*, 28, 297-326. <https://doi.org/10.4064/ap-28-3-297-326>

Kanas, S. and Wisniowska, A. (2000). Conic domains and starlike functions. *Revue Roumaine des Mathematiques Pures et Appliquees*, 45(4), 647-657.

Littlewood, J. E. (1925). On inequalities in the theory of functions. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 23(2), 481-519. <https://doi.org/10.1112/plms/s2-23.1.481>

Mittag-Leffler, G. (1903). Sur la Nouvelle Fonction $Ea(x)$. *Comptes rendus de l'Académie des sciences Paris*, 137, 554-558.

Prabhakar, T. R. (1971). A singular integral equation with a generalized Mittag-Leffler function in the Kernel. *Yokohama Mathematical Journal*, 19, 7-15.

Raducanu, D. (2017). Third-Order differential subordinations for analytic functions associated with generalized Mittag-Leffler functions. *Mediterranean Journal of Mathematics*, 14:167. <https://doi.org/10.1007/s00009-017-0969-8>

Rønning, F. (1993). Uniformly Convex functions and a corresponding class of starlike functions. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 118(1), 189-196. <https://doi.org/10.1090/S0002-9939-1993-1128729-7>

Silverman, H. (1975). Univalent Functions with negative coefficients. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 51, 109-116. <https://doi.org/10.1090/S0002-9939-1975-0369678-0>

Wiman, A. (1905). Über den fundamentalsatz in der theorie der funktionen $E_a(x)$. *Acta Mathematica*, 29, 191-201. <https://doi.org/10.1007/BF02403202>

Kentsel yeşil alanların peyzaj ve eko-silvikültürel yönden incelenmesi: Trabzon örneği

Investigation of urban green areas from landscape and eco-silvicultural aspects: the sample of Trabzon

İbrahim TURNA^{1,a}, Tuğba SEVİMLİ^{2,b}, Nebahat YILDIRIM^{*1,c}

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

²Peyzaj Mimarı, Orman Yüksek Mühendisi, 34862, İstanbul

• Geliş tarihi / Received: 18.11.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 04.02.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 28.02.2021

Öz

Kentsel yeşil alanların peyzaj, ekoloji ve silvikültürel yönden değerlendirildiği bu çalışmada; Trabzon kent merkezinde bulunan Atatürk Köşkü Ormanı, Lütfi Göktaş Parkı (Ecopark) ve Boztepe Ormanı olmak üzere üç adet kentsel yeşil alan değerlendirilmiştir. Bu alanların meşcere karakteristikleri ile ekolojik ve peyzaj özellikleri incelenmiştir. Araştırma alanlarını temsil edecek örnek alanlar seçilmiş ve bu alanlarda toplamda 10 adet toprak çukuru (46 adet toprak örneği) ve 9 adet meşcere profili alınmıştır. Elde edilen verilere göre, yeşil alanların kullanım biçimleri, işlevselliği, yeterliliği gibi özellikler değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda; her üç alanın toprak bakımından kil oranının yüksek olduğu görülmüştür. Atatürk Köşkü ve Boztepe Ormanının bitki türü bakımından sınırlı sayıda iken Lütfi Göktaş Parkında ise daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Üç alanda da tesis aşamasında ağaç türü seçiminde yetiştirme ortamı özelliklerine tam olarak uyulmadığı, bunun sonucu olarak kurumaların meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle de çalışmanın yapıldığı tarihten (2014-2015) sonra yeşil alanlarda iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Zira mevcut haliyle yeşil alanların bakımsız ve giderek artan ihtiyaçlara cevap veremeyecek durumda olduğu ortaya çıkmıştır. Bu noktadan hareketle mevcut yeşil alanların tekrar gözden geçirilerek işlevsel açıdan kullanım olanaklarının artırılması, bitkisel tasarım ve ekolojik (özellikle toprak) özellikleri açısından irdelenip iyileştirilmesi, kent halkına etkili bir kullanım sunmak üzere neler yapılabileceği konusunda öneriler getirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Atatürk Köşkü ormanı, Boztepe ormanı, Kentsel yeşil alanlar, Lütfi Göktaş parkı, Peyzaj, Silvikültür

Abstract

In this study where urban green areas are evaluated in terms of landscape, ecology and silvicultural aspects; three urban green areas have been determined to be Atatürk Mansion Forest, Lütfi Göktaş Park (Ecopark) and Boztepe Forest located in the city center of Trabzon. Stand characteristics, ecological and landscape properties of these areas were examined. Sample areas representing the research areas were selected and a total of 10 soil pits (46 soil samples) and 9 stand profiles were taken in these areas. According to the data obtained, features such as the usage patterns, functionality and adequacy of green areas were evaluated. In the result of the study; all three areas had high clay content in terms of soil. It was determined that Atatürk Mansion and Boztepe Forest is limited in terms of plant species, while it is more in Lütfi Göktaş Park. It is understood that the tree species selection at the facility stage in all three areas does not fully comply with the habitat characteristics, and as a result, drying in plants occurs. For this reason, improvement studies were carried out in green areas after the date of the study (2014-2015). Because, in its current state, it has been revealed that green areas are neglected and unable to meet the increasing needs. From this point of view, suggestions have been made on what can be made in order to increase the usage possibilities in functional terms, to examine and improve them in terms of vegetative design and ecological (especially soil) features, and to offer effective use of the people in the city center.

Keywords: Atatürk Pavilion forest, Boztepe forest, Urban green areas, Lütfi Göktaş park, Landscape, Silviculture

*c Nebahat YILDIRIM; nebahat.yildirim@ktu.edu.tr, Tel: (0539)448 36 78, orcid.org/0000-0002-1795-050X

^a orcid.org/0000-0003-4408-1327

^b orcid.org/0000-0001-5394-5049

1. Giriş

Aşırı nüfus artışı, göç, nükleer felâketler, kentlerin kontrolsüz büyümesi, yağmur ormanlarının giderek yok olması, asit yağmurları, sera etkisi, ozon tabakasının delinmesi gibi konular tüm insanlığın ortak kaygıları haline gelmiştir. Bu olumsuz etkiler, insanların yeşil alanlara olan ihtiyacını daha da ön plana çıkarmaktadır (Turna vd., 2017).

Kentsel yeşil alanlar, kent mekânı içinde fiziksel ve sosyal çevrenin niteliğini belirleyen, eğitimsel, kültürel ve rekreasyon amaçlı kullanımlara olanak tanıyan ve toplumun tüm bireylerinin kullanımına açık olan kamu mekânlarıdır (Yuen, 1996). Uygurluk tarihinin başlangıç noktası olarak kabul edilen kentsel mekânlar, insanların toplu yaşama içgüdüleri veya sosyalleşme eğilimlerinin ortaya koyduğu bir yaşam biçimi ve mekânı olarak karşımıza çıkmaktadır (Ceylan, 2007; Turna, 2017). Doğal hayatın destek sisteminin önemli bir elementi olan yeşil alanlar, aynı zamanda kentsel yaşamın sürdürülebilir olmasında da oldukça etkin rol oynarlar (Kuchelmeister, 2000). Kent halkına serbest zamanlarını değerlendirme yönünde sosyal ve psikolojik yararlar sağlayan yeşil alanlar, kent sosyal hayatında yaşam kalitesini artırma yönünden stratejik öneme sahiptirler (Kurdoğlu ve Pirselimoglu, 2011).

Yaşamı, fiziksel ve psikolojik olarak daha rahat kılmak ve ihtiyaçlara daha uygun ortamlar oluşturmak için, kullanıcıların fiziksel, fizyolojik, psikolojik ve sosyal yapısından kaynaklanan ihtiyaçlarını önceden kestirmek ve açık mekanlardan oluşan çevreyi bu ihtiyaçlara göre şekillendirmek gereklidir (Aksoy, 2008). Bir kentte var olan mimari yapılar, yeşil alanlar ve bunların birbirleriyle olan ilişkileri ve bütünlüğü kente gerek estetik, gerekse fonksiyonel anlamda katkı sağlayan, değer katan ve kente kimlik kazandıran önemli kentsel parçalardır. Kentsel karakterlerin oluşmasında da bu doğal ve kültürel öğeler birlikte rol oynamaktadır. İnsanlar açısından bir kentin yaşam kalitesini arttırmak için, bu iki öğe planlamanın her aşamasında bütünsel yaklaşımla ele alınmalıdır (Çakar, 2012). Yeşil alanlar, insan ile doğa arasındaki bozulan ilişkiyi dengelemede ve kentsel yaşam koşullarının iyileştirilmesinde önemli bir konuma sahip olduklarından gelişmiş ülkelerde yeşil alanların nitelik ve nicelikleri, medeniyetin ve yaşam kalitesinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bu kapsamda pek çok gelişmiş ülke, insanların fiziksel ve zihinsel ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak insan yaşamı için uygun kent mekânı veya ekolojisini

planlama ve oluşturma çabasına yönelmektedirler (Gül ve Küçük, 2001).

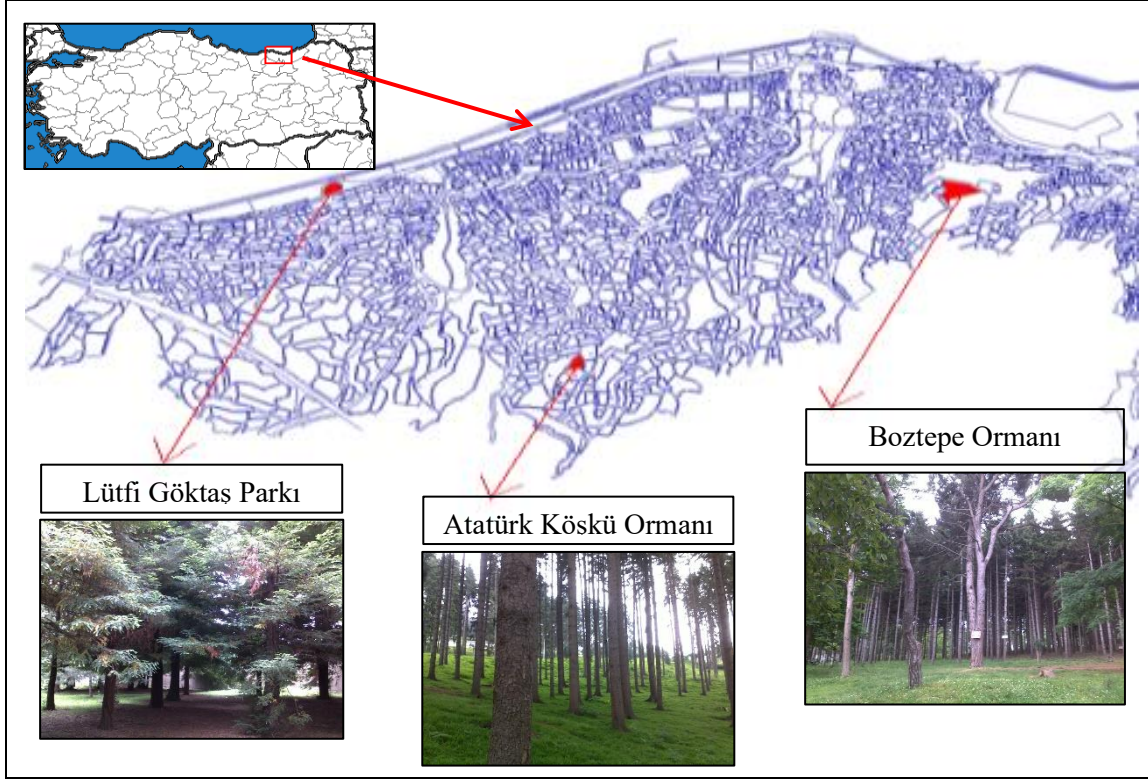
Trabzon kent merkezinde bilinçsiz yapılaşma ve kontrolsüz/plansız büyüme ile yeşil alanların giderek azalması, fiziksel ve ekolojik çevre sorunlarının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. İnsan yaşamında büyük öneme sahip olan yeşil alanlar betonlaşmaya dayalı büyüme sonucu tahrip edilmektedir. Çarpık kentleşmenin oluşturduğu olumsuzlukları iyileştirmek ve yaşam kalitesini yükseltmek giderek güçleşmekte olup uzun yıllar alacağı açıktır. Bu nedenle mevcut dokuyu koruyarak imar planlarının yapılması, yeniden tesis edilecek ve tahrip edilmiş alanların amaca ve ortam koşullarına uygun bitki türleri ile bitkilendirilmesi yanında, peyzaj ve silvikültürel bakım çalışmalarının düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Bu sayede kentsel yeşil alanların sürdürülebilirliği ve fonksiyonel olması sağlanır. Tüm Türkiye’de olduğu gibi Trabzon’da da mevcut yeşil alanların korunması, bakımı ve yeni yeşil alanların tesisine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. 2009 yılı verilerine göre Trabzon’da kent genelinde aktif yeşil alan 2 milyon 60 bin m²’ye ulaşırken, kişi başına düşen yeşil alan miktarı ise 8.59 m²’ye çıkarılmıştır. 2009 yılından bugüne kadar 22 adet park ve dinlenme alanı tesis ederek kente kazandıran Belediye, imar planında park ve yeşil alan olarak ayrılan yerlerde de park yapımını sürdürmektedir (URL-1,2015).

Trabzon kentinde yapılan bu çalışmanın amacı; belirlenen kentsel yeşil alanların işlevleri ve önemi konusunu vurgulamak, yeşil alanların ekoloji, peyzaj ve silvikültürel yönden değerlendirilerek gereksinimleri ve sorunlarının ortaya konulmasıdır.

2. Materyal ve metod

Kentsel yeşil alanların seçiminde büyüklük ve yerel halkın kullanım yoğunluğu esas alınmıştır. Trabzon ili Ortahisar İlçe sınırları içerisinde yer alan 1930’lu yıllarda oluşturulan Atatürk Köşkü Ormanı, 1995 yılında tesis edilen Lütfi Göktaş Parkı ve 1938 yılında fidan dikim ile oluşturulan Boztepe Ormanı seçilmiştir. Çalışma 2014-2015 yılları arasında yürütülmüş olup, Lütfi Göktaş Parkı şu an gerek tür gerekse fonksiyonel özellikleri bakımından Ekopark olarak değiştirilmiştir. Atatürk Köşkü Ormanında 2018-2019 yıllarında meydana gelen böcek kaynaklı kurumlardan sonra “Atatürk Köşkü Orman Koruma ve Rehabilitasyon Projesi” kapsamında bazı değişikliklere gidilmiştir. Böylelikle Ekopark ve Atatürk Köşkü Ormanının önceki durumları

esas alınmıştır. Örnek alanların coğrafi konumları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmaya konu olan örnek alanların coğrafi konumları

Araştırma alanlarına ilişkin geçmişte konu ile ilgili kişi ve kuruluşların hazırladığı çalışmalar ve güncel veriler Trabzon Büyükşehir Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü’nden temin edilmiş ve incelenmiştir. Meşcere profilleri için örnek alan içerisine giren ağaçlar tek tek incelenerek özellikleri (koordinat, tür, dip kütük ($d_{0,30}$) çapı (cm), göğüs ($d_{1,30}$) çapı (cm), boy (m), dal uzunlukları, yaş dal yüksekliği) belirlenerek, boyutları 20 m x 20 m olacak şekilde 400 m²’lik ve 30 m x 20 m boyutlarında 600 m²’lik olmak üzere Atatürk Köşkü ve Boztepe Ormanında 4’er adet ve Lütfi Göktaş Parkında ise 1 adet olmak üzere toplamda 9 adet meşcere profilleri alınmıştır. Örnek alanların toprak özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; Atatürk Köşkü Ormanından ve Lütfi Göktaş Parkından 3’er adet ve Boztepe Ormanından ise 4 adet olmak üzere toplamda 10 adet toprak profili Çepel (1988)’e göre açılmıştır. Atatürk Köşkü Ormanı ve Boztepe Ormanında tüm profillerde 0-10, 10-30, 30-60, 60-100 cm derinlik kademelerinden toprak örnek alımı gerçekleştirilirken Lütfi Göktaş Parkında 0-10 ve 10-30 cm derinlik kademelerinde toprak örnekleri alınmıştır. Alınan toprak örneklerinin analizleri laboratuvar ortamında yapılmıştır.

Çalışma alanlarının peyzaj özelliklerini belirleyebilmek amacıyla üç alanda incelemeler ve ölçümler yapılmıştır. Örnek alanlarda bulunan bitkilerin görsel özellikleri (çizgi, doku, renk) bitkilerin ekolojik katkıları ve alanların kullanım özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen bütün veriler, her üç alanın mevcut durumlarını, kullanımlarını ve yeterliliklerini belirlemek amacıyla oluşturulan peyzaj değerlendirmesi kimlik kartlarına yerleştirilmiştir (Tablo 1). Kimlik kartlarına, alanlarda olan veya olması gereken (görsel özellik, ekolojik özellik ve alan kullanım özelliği) öğeler işlenmiş ve değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirmede alanların mevcut durumları ve belirlenen kriterlere uygunluğu "√" işareti ile gösterilmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Atatürk köşkü ormanına ilişkin bulgular ve tartışma

Atatürk Köşkü Ormanı, Trabzon’un 7 km güney batısında, Soğuksu mahallesinde yer alan yaklaşık olarak 2.5 ha’lık bir alana sahiptir. Çalışma alanı içerisinde yapılan incelemelerde dikim yoluyla tesis edilen türlerin mevcut durumu (canlı-ölü vb.) ile kapallığı belirlenmiştir. Yapılan tespitler

sonucunda; *Picea orientalis* (L.) Link türünün; 1034 bireyi canlı (%94.5) iken 60 (%5.5) bireyi kuru, *Pinus sylvestris* L. türünün; 141 (%95.3) bireyi canlı iken 7 (%4.7) bireyi kuru, *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. türünün 40 (%97.6) bireyi canlı iken 1 (% 2.4) bireyi kuru ve *Ulmus minor* Mill. türünden ise 1(%100) adet canlı birey mevcuttur. Toplamda 1216 (%94.7) tür canlı, 68 (%5.3) tür ise hastalık ve diğer sebeplerden dolayı kurumuştur. Araştırma alanında belirlenen toplam 1284 ağacın 1094'ü doğu ladini (*Picea orientalis*) ağacıdır. Yani çalışma alanındaki ağaçların % 85.2'sini doğu ladini ağaçları oluşturmaktadır. Buna göre doğu ladini hâkimiyetinde karışık orman niteliğinde olan alan tamamen iğne yapraklı türlerden oluşmaktadır.

2015 yılı verilerinden sonra aynı alanda böcek başta olmak üzere çeşitli nedenlerle oluşan aşırı kurumaların olduğu görülmüştür. Bundan dolayı 2018 yılında KTÜ Orman Fakültesi öğretim üyeleri tarafından hazırlanan raporda alanda mevcut toplam 1041 ağacın 326'sı (%31) Oniki dişli çam

kabuk böceği (*Ips sexdentatus* (Boern)), zararı ile tamamen kuruduğu belirlenmiştir. Kuruyan ağaçların 286'sı (%87.7) doğu ladini, 40 adedinin (%12.3) sarıçam olduğunu raporlanmıştır (Anonim, 2018).

Alınan 3adet meşcere profili ile alanın yükseltisi 312-360 m arasında değişmektedir. Hâkim bakı kuzey, eğimi %23.9-%30.8 arasındadır. Alanlardaki doğu ladininde minimum ve maksimum boy (m) değerleri sırasıyla 17.3-37.2, minimum ve maksimum çap (cm) değerleri ise 18-46 olarak tespit edilmiştir. Sarıçamlarda minimum ve maksimum boy (m) değerleri 9.8-24.5 iken minimum ve maksimum çap (cm) değerleri 19-42 cm'dir. Sekoya türünde minimum boy 5.1 m, maksimum boy 13 m, minimum çap 12 cm, maksimum çap 32 cm olarak ölçülmüştür. Toprak özelliklerini belirlemek amacıyla farklı ağaç türlerinin yoğun olduğu alanlarda 3 adet toprak profili alınmış ve analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Peyzaj değerlendirmesi kimlik kartı

Alan Adı:	Alan Planı:
1. Estetik ve Görsel Özellikleri	
a) Kompozisyonun Fiziksel Özellikleri	
Çizgi	
Bitkide Çizgi : () Düz () Organik	
Kompozisyonda Çizgi: () Düz () Organik	
Biçim-Form	
Bitki Formu : ()Piramit () Yuvarlak () Konik () Köşeli () Dağınık	
Kompozisyon Formu : () Düz () Organik () Dağınık	
Doku	
() Kaba Doku () Orta Doku () İnce Doku	
Renk	
Tek Renk : () Kırmızı () Turuncu () Sarı () Yeşil () Mavi () Mor () Diğer	
İki Renk : () Kırmızı () Turuncu () Sarı () Yeşil () Mavi () Mor () Diğer	
Çok Renk : () Kırmızı () Turuncu () Sarı () Yeşil () Mavi () Mor () Diğer	
b) Kompozisyonun Bileşim Özellikleri	
Bitki Sayısı:	
Bitki Tür veya Türleri:	
2. Bitkilerin Ekolojik Katkıları	
İklimi iyileştirme ()	
Rüzgâr ve sıcaklık etkilerinden koruma ()	
Hava kalitesini iyileştirme ()	
Yüzey akış kontrolü sağlama ()	
Gürültü önleme ()	
Biyolojik çeşitlilik sağlama ()	
3. Alan Kullanım Özellikleri	
a) Kent Halkının Kullanım Amacı	
() Gezinti () Piknik () Oyun () Dinlenme () Diğer	
b) Donatı elemanları	
() Çöp kutusu () Oturma elemanları () Oyun elemanları () Aydınlatma () Uyarı levhaları	

Tablo 2. Atatürk Köşkü Ormanında ağaç türüne göre bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri

Ağaç Türü	Derinlik (cm)	Kum (%)	Toz (%)	Kil (%)	Toprak Türü	pH (suda)	EC ($\mu\text{S/cm}$)	OM (%)
<i>Picea orientalis</i>	0-10	29.97	22.10	47.9	Ağır Kil	5.04	85.77	1.31
	10-30	35.85	23.05	41.05	Balçıklı Kil	4.96	81.95	1.86
	30-60	32.78	23.15	44.05	Balçıklı Kil	4.98	91.88	1.40
	60-100	32.91	22.58	44.48	Balçıklı Kil	5.00	83.86	1.58
<i>Pinus sylvestris</i>	0-10	36.1	21.9	41.9	Balçıklı Kil	5.00	65.9	2.22
	10-30	35.6	24.2	40.2	Balçıklı Kil	4.92	98	1.49
	30-60	40.2	24.0	35.7	Balçıklı Kil	5.09	63.3	1.12
	60-100	40.3	21.7	38.0	Balçıklı Kil	4.86	98.3	2.07
<i>Sequoia sempervirens</i>	0-10	42.1	26.0	31.9	Balçıklı Kil	5.51	109.9	5.63
	10-30	36.2	25.8	37.9	Balçıklı Kil	5.4	170.4	2.54
	30-60	38.2	21.7	40.1	Balçıklı Kil	4.85	58.1	1.44
	60-100	36.5	23.6	39.9	Balçıklı Kil	4.87	48.5	1.29

Tablo 2 verilerine göre toprak türünün genel olarak balçıklı kil olduğu görülmektedir. Alanda hâkim ağaç türünün doğu ladinini olduğu düşünüldüğünde toprak türünün çok uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Nitekim Yılmaz (2000), yapmış olduğu bir araştırmada doğu ladininin hafif toprak sevdiğini belirtmiştir. Çalışma alanına ait verilerde üst toprakta (0-10) en yüksek kum içeriği Sahil sekoyası alanında, en düşük kum değeri Doğu ladinini alanında ölçülmüştür. Bunun olası nedenleri arasında Sahil sekoyası alanında toprağın daha gevşek bir yapıya sahip olduğu ve kapalılık oranı düşük olduğu için toprak yüzeyine daha fazla yağış sularının ulaşması ve bu nedenle kil fraksiyonunu yıkayarak toprak kesitinde aşağı derinliklere taşınmasının etkisi olduğu düşünülmektedir. Doğu ladinini ve sarıçam alanları bu durumun tersi yönde bir eğilim göstermektedir. Bu alanda orman bakımı tedbirleri (aralama) zamanında yapılmamış, aşırı insan kullanımına maruz kalmıştır. Bunun bir sonucu olarak toprağın sıkışmış ve kapalılığın yüksek olması nedeniyle üst toprağa gelen yağışların yüzeysel akışa geçmesi daha az kil yıkanmasına sebep olabilmektedir. Bu da üst toprakta düşük olan kum oranının derinlikte artmasına, yüksek olan kil oranının ise derinlikte azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca bu alanda derinlik kademelerinde toz miktarları arasında anlamlı bir değişikliğin olmamasında kum ve kil içeriklerinin etkisi olduğu sanılmaktadır. Benzer şekilde Anonim (2018), deki raporda da kil oranının fazla olmasından dolayı toprak süzekliği düşük bulunmuştur. Raporda buna ek olarak, alanın önceden mesire yeri olarak kullanılması ve buna bağlı toprakta meydana gelen sıkışma nedeniyle de ağaç köklerinin gelişimi ve toprağın su depolama kapasitesinin olumsuz etkilendiği vurgulanmıştır.

Toprakların pH değerinin 4.85-5.5 arasında olması asidik özellikte olduğunu göstermektedir. Derinlik kademeleri açısından incelendiğinde toprak tepkimesinin genel olarak derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Bu durum toprağın sıkışık olmasından kaynaklanabilir. Çünkü sıkışık topraklarda havalanma kabiliyeti düşüktür ve yağış suları yüzeysel akışa geçer ve topraktaki bazlar yağmur sularıyla yıkanarak uzaklaşır (Akalan, 1987). Toprak örnekleri tuzluluk açısından incelendiğinde topraklar tuzsuz karakterdedir. Ağaç türü ve derinlik kademelerine göre toprak organik madde miktarı genel olarak üst toprak, alt toprağa nazaran daha yüksektir. Bu beklenen bir durumdur. Çünkü derinlik arttıkça toprak organik madde miktarı azalmaktadır (Zengin, 2010; Kırış, 2009).

Atatürk Köşkü Ormanı peyzaj değerlendirme kimlik kartı verilerinden hareketle değerlendirdiğimizde alanın bitkisel kompozisyonu, estetik değeri ve kullanım çeşitliliği açısından zayıf özellikler gösterdiği ortaya çıkmıştır. Zira alana dikilen türlerin bakımlarının zamanında yapılmadığı, estetik değer fonksiyonlu olarak planlanmadığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla ormanda görsel amaçlı herhangi bir bitkilendirme ve alan kullanımına yönelik tasarım bulunmamaktadır. Bitkisel elemanların vurgu yaratmak, perdeleme yapmak, üst örtü olarak kullanmak, mekân hissi uyandırmak, alana üçüncü boyut etkisini katmak ya da sadece estetik kaygılarla renk etkisinden yararlanmak gibi birçok kullanım amaçları vardır (Sakıcı vd., 2013; Vural, 2020). Bitkilerin durağan olmaması, çiçeklerin büyümesi ve olgunlaşması, özellikle geniş yapraklı türlerin sonbaharda yaprakların dökülmesi insanlara günlerin hızla geçtiğini göstergesi olup monotonluğu engellemektedir (Smardon, 1990;

Mcdowell, 1997; Sakıcı, 2009). Bitkilerin bu ve benzeri birçok fonksiyonu olmasına rağmen alandaki özellikle doğu ladini ağaçları sıralar halinde dikilerek tekdüzelik oluşturulmuştur. Sahil sekoyası görsel güzelliği yüksek olan, soliter kullanılması gereken bir tür olmasına rağmen alana grup halinde getirilmiştir. Ayrıca alandaki türlerin sadece iğne yapraklı türlerden seçildiği, geniş yapraklı türlere yer verilmediği, herhangi bir ağaççık ve çalı türlerinin olmadığı da görülmektedir. Bu durum biryandan kentsel yeşil alanın her türlü hastalık vb. zararlılara karşı zayıf kalmasına diğer yandan da monoton bir görünümde olmasına neden olmuştur. Nitekim bakımsızlık yanında yaşlanma ve toprak sıkışmaları gibi nedenlerle ormanda kurumalar görülmeye başlamıştır. 2017-2018 yıllarındaki aşırı kurumlardan sonra 2018 yılında arazi incelemelerine dayanılarak hazırlanan rapor doğrultusunda alana, Gürgeç, kayın, ıhlamur, karaağaç, akçaağaç, sedir gibi doğal türler dikilmiştir. Böylece hem hastalıklara dayanıklı hem de monoton görünümün ortadan kalkmasına yönelik karışık meşcere tesisine gidilmiştir.

Kentsel parklar, insanların günlük kullanım içinde kolaylıkla erişebilecekleri yerlerde bulunmakta ve yürüyüş, koşu, dış mekânda oturma, piknik yapma, oyun ve benzeri bireysel ya da grup eylemlerine olanak sağlamaktadır (Oğuz, 1998). Trabzon kenti içerisinde yer alan Atatürk Köşkü Ormanı gerek yerli gerekse yabancı turistler tarafından ziyaret edilmekte ve dinlenmek, piknik yapmak ya da temiz hava almak için yoğun olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte alan içerisinde herhangi bir yürüyüş yolu, oturma bankları, seyir terasları, çeşme, otopark, WC, çöp kovası, özel dinlenme alanları, oyun alanları, uyarı ve yönlendirme levhası gibi donatı elamanları da bulunmamaktadır.

3.2. Lütfi Gökteş parkına ilişkin bulgular ve tartışma

Lütfi Gökteş Parkı, Trabzon merkez sınırları içerisindeki 2 No'lu Beşirli Mahallesi'nde yer

almakta olup yaklaşık olarak 0.18ha'lık bir alana sahiptir. Çalışma alanı dolgu alanı olup taşıma topraklarla yapılmıştır. Çalışmanın yapıldığı tarihten sonra 2016 yılında Ekopark'a dönüştürülmüştür. Alandaki ağaçlar dikim yoluyla tesis edilmiş olup park halkının kullanımına açık bir alandır. Çalışma alanında 23 farklı bitki türü tespit edilmiştir. Böylelikle alanda en fazla bulunan türden en az bulunan türe göre sıraladığımızda; *Sequoia sempervirens* (D.Don) Endl. (67 adet), *Picea abies* (L.) Karst. (60), *Pinus pinaster* Ait. (56), *Platanus orientalis* L. (10), *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. (9), *Pinus nigra* Jf Arnold (7), *Tilia tomentosa* Moench (6), *Cupressus sempervirens* L. var. *horizontalis* (Mill.) Gord. (5), *Laurus nobilis* L. (5), *Pinus sylvestris* L. (4), *Cedrus libani* A. Rich. (4), *Fraxinus excelsior* L. (4), *Betula pendula* Roth. (4), *Magnolia grandiflora* L. (3), *Phoneix dactylifera* L. (3), *Biota orientalis* L. Endl. (2), *Morus alba* L. (2), *Aesculus hippocastanum* L. (2), *Cryptomeria japonica* D.Don (2), *Eriobotrya japonica* Lindl. (2), *Pinus wallichiana* AB Jackson (1), *Malus floribunda* Sieb. ex Van Houtte (1) ve *Gleditsia triacanthos* L. (1) olmak üzere ve toplamda 260 adet ağaç ve ağaççık türü alanda bulunmaktadır. Alan yeterli ışık aldığından park içerisinde alt tabaka (otsu diri örtü) mevcut olup türlerin sağlıklı olduğu gözlemlenmiştir.

Lütfi Gökteş Parkının meşcere profilleri ve bunların çeşitli silvikültürel özelliklerini belirlemek amacıyla 1 adet meşcere profili alınmıştır. Örnek alan deniz seviyesinde, hâkim bakı güney, eğimi %3.5 ve kapalılık oranı 0.7-0.8'dir. Örnek alanda çoğunlukla sahil sekoyası ağaçları olmakla minimum ve maksimum boy değerleri 12.3-23.5 m, minimum ve maksimum çap değerleri ise 6-46 cm olarak ölçülmüştür. Toprak özelliklerini belirlemek amacıyla 3 adet toprak profil örneği alınmıştır. Yapılan analiz sonuçları ise Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Lütfi Gökteş Parkının ağaç türüne göre bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri

Ağaç Türü	Derinlik (cm)	Kum (%)	Toz (%)	Kil (%)	Toprak Türü	pH (suda)	EC (µS/cm)	OM (%)
<i>Sequoia sempervirens</i>	0-10	59.0	11.9	29.1	Kumlu Kil	7.61	177.8	0.06
	10-30	68.2	5.2	26.6	Kumlu Kil	7.83	142.5	0.72
<i>Picea abies</i>	0-10	47.5	14.2	38.3	Balçıklı Kil	7.29	232.6	2.89
	10-30	62.1	9.4	28.5	Kumlu Kil	7.67	160.4	1.51
Karışık yapraklılar	0-10	49.2	11.6	39.2	Balçıklı Kil	7.54	140.6	1.33
	10-30	49.3	11.6	39.2	Balçıklı Kil	7.38	226.6	1.89

Lütfi Göktaş Parkından alınan toprak örneklerinde kum değerlerinin, toz ve kil değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Alanın dolgu alanı olması ve toprak içerisindeki taş oranının yüksek olmasından dolayı kum değeri yüksek çıkmıştır. Ayrıca derinlik kademeleri arttıkça kum oranı artmış kil ve toz oranlarının da azaldığı görülmektedir. Bu durum topraktaki kilin ve tozun yıkanmadığını göstermektedir. Toprakların pH değerlerinin 7.29-7.83 seviyesinde olması toprakların hafif alkali özelliğe sahip olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni alanın dolgu topraklarından oluşması ve toprakta herhangi bir yıkanmanın söz konusu olmamasıdır. EC bakımından topraklar tuzsuz karakterdedir. Toprağın üst kısmı organik maddece en zengin olan yeridir. Fakat Lütfi Göktaş Parkı'nda böyle bir durum söz konusu değildir. Bunun nedeni toprakların taşıma topraklardan oluşması ve alanın taşlık olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Lütfi Göktaş Parkı için oluşturulmuş peyzaj değerlendirmesi kimlik kartında bitkilerin görsel özellikleri, ekolojik özellikleri ve alanların kullanım özelliklerine ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. Kent parklarında bitkiler kullanılarak mikro klima, havayı iyileştirme, tozları filtre etme ve gürültüyü azaltma gibi işlevleri yanında, insanın bedensel ve ruhsal yapısında olumlu etkileri bulunur (Aksoy, 2001; Elinç, 2011; Gülpınar Sekban vd., 2018). Buna göre verilen plan ve verileri değerlendirdiğimizde alan yol kenarında bulunduğu kent içindeki havayı temizleme, gürültüyü önleme fonksiyonlarından dolayı önemli bir yere sahiptir. Bitkiler parkların tasarımına veya biçimlenmesine tüm özellikleri ile katkı sağlayan çok önemli elemanlardır (Tarakcı Eren ve Var, 2016). Kentsel habitatların yüksek oranda heterojen bir yapıya sahip olması kentsel floranın zengin olmasının nedenlerinden sayılmaktadır (Kowarik, 2011). Alan içinde bulundurduğu farklı türler nedeniyle de biyolojik çeşitliliğe katkı sağlamaktadır. Alan küçük olduğu için farklı kullanım çeşitliliği yoktur. İnsanlar tarafından da çok fazla ziyaret edilmemektedir. Gelenlerde sadece yürüyüş yapıp gitmekteydiler. Ancak alan Ekopark'a dönüşümünde birçok kullanım alanları düzenlenmiş ve şu an Ekopark'ta yoğun bir kullanım söz konusu olmuştur. Öncesinde alanın sosyal aktivite için değil, kent içerisinde görsel etkisi yüksek olan bir yeşil alan olarak tesis edildiğini söyleyebiliriz. Lütfi Göktaş Parkı, küçük bir alan olmasına rağmen bitki seçimindeki çeşitlilikten dolayı görsel doyum sağlayabilen, dikkat çekici bir yeşil alandır. Alan bu özelliğiyle ön plana çıkmaktadır. Geniş yapraklı ve iğne yapraklı türlerin karışım halinde kullanılmış

olması, alanın görsel kalitesini arttırmaktadır (Acar ve Sakıcı, 2008). Alanda bulunan bitkilerden olan sahil sekoyası ve doğu çınarı türleri sıralar halinde düzenli olarak dikilmişken, diğer türler düzensiz olarak dikilmiştir. Görsel etkisi yüksek olan türlerin ise alanda soliter olarak kullanıldığı görülmektedir (*Magnolia grandiflora* gibi). Ayrıca alanda, yeşil dışında çeşitli renk ve formlarda bitkilerin kullanılmış olması alanı daha estetik bir hale getirmiştir.

3.3. Boztepe ormanına ilişkin bulgular ve tartışma

Trabzon'un 5 km doğusunda Boztepe Mahallesi'nde yer alan Boztepe Ormanı yaklaşık olarak 3.7 ha'lık bir alana sahiptir. Alan, Trabzon merkez sınırları içerisinde yer alan yeşil alanların büyük bir kısmını oluşturmaktadır

Çalışma alanı içerisinde 16 farklı ağaç ve ağaççık türü tespit edilmiş olup; *Picea orientalis* türünün toplam 1311 adet bireyinden 92 adet ağaç kuru, *Pinus pinea* L. türünün toplam 267 adet bireyinden 19 adet ağaç kuru olduğu gözlenmemiştir. Alana ait olan diğer türler ve sayıları; *Fraxinus angustifolia* Vahl. subsp. *oxycarpa* (Bieb. ex Willd) Franco & Rocha Afonso (29), *Pinus sylvestris* L. (28), *Robinia pseudoacacia* L. (25), *Populus tremula* L. (16), *Pinus pinaster* Ait. (12), *Acer negundo* L. (9), *Acer pseudoplatanus* L. (4), *Cryptomeria japonica* D. Don. (4), *Morus alba* L. (2), *Sequoia sempervirens* (D. Don.) Endl. (1), *Aesculus hippocastanum* L. (1), *Salix babylonica* L. (1), *Cerasus avium* L. (1) ve *Prunus domestica* L. (1) olarak tespit edilmiştir. Boztepe Ormanındaki iğne yapraklı türlerde genel olarak doğal dal budanması iyi değildir. Işıksızlıktan kuruyan dallar ağaç üzerinde uzun süre kalabilmektedir. Özellikle doğu ladini ve fıstık çamı türlerinde ışıksızlıktan dolayı tepelerin alt kısmında kuru dallar diğer türlere göre daha fazladır ve ağaçların tepe kısımları gelişiminin de zayıf olduğu gözlemlenmiştir. Alanda gözlemlenen diğer olumsuz bir durum ise Boztepe Ormanının gezinti yeri ve piknik alanı olması nedeniyle alanda oluşan kirlilik ve toprakta oluşan sıkışmadır. Ayrıca meşcere altındaki toprağın halk tarafından zaman zaman süpürüldüğü de görülmüştür. Bu da ağaçların gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Ağaçlardan dökülen ibrelerin zamanla ayrışmakta ve toprağa karışarak onu besin bakımından zenginleştirdiği bilinmektedir. Toprağın süpürülüp ibrelerin uzaklaştırılması buradaki toprağın fakirleşmesine sebep olmaktadır.

Alandan toplamda 4 adet meşcere profili alınmış olup, örnek alanlardaki yükseltiler 214-241m

arasında değişmektedir. Hâkim bakı kuzey, eğimi %6.7- %29.5 arasındadır. Meşcere yaşı 78'dir. Örnek alanlardaki doğu ladini ağaçlarının minimum ve maksimum boy değerleri 7.9 m-29.7 m iken, minimum ve maksimum çap değerleri 16-32 cm olarak tespit edilmiştir. Fıstıkçamı ağaçlarının minimum ve maksimum boy değerler

6.3-20 m, minimum ve maksimum çap değerleri ise 17-47 cm; Sarıçam ağaçlarının minimum ve maksimum boy değerler 14.6-26m, minimum ve maksimum çap değerleri ise 33-46cm olarak ölçülmüştür. Alana ait toprak özellikleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Boztepe Ormanının ağaç türüne göre bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri

Ağaç Türü	Derinlik (cm)	Kum (%)	Toz (%)	Kil (%)	Toprak Türü	pH (suda)	EC ($\mu\text{S/cm}$)	OM (%)
<i>Fraxinus angustifolia</i> subsp. <i>oxycarpa</i>	0-10	37.2	21.7	41.2	Balçıklı Kil	6.46	68.7	4.32
	10-30	29.9	20.3	49.7	Ağır Kil	6.37	69.2	1.98
	30-60	15.0	10.2	74.8	Ağır Kil	4.87	69.8	0.67
	60-100	12.5	8.0	79.5	Ağır Kil	5.19	29.7	0.42
<i>Picea orientalis</i>	0-10	34.65	22.6	42.75	Balçıklı Kil	5.08	117.80	4.39
	10-30	38.95	16.2	44.9	Balçıklı Kil	4.79	118.80	1.60
	30-60	41.8	16.2	42	Balçıklı Kil	4.88	151.80	0.87
	60-100	26.05	13.15	60.75	Ağır Kil	4.76	153.35	0.42
<i>Pinus pinea</i>	0-10	36.3	26.5	37.2	Balçıklı Kil	6.18	127.1	3.36
	10-30	36.7	26.3	37.0	Balçıklı Kil	5.56	121.1	2.42
	30-60	44.9	16.4	38.7	Balçıklı Kil	5.25	167.2	1.16
	60-100	46.9	14.3	38.9	Balçıklı Kil	5.3	157.6	0.82
<i>Pinus sylvestris</i> - <i>Robinia pseudoacacia</i>	0-10	38.1	20.6	41.3	Balçıklı Kil	5.97	134.2	5.15
	10-30	46.5	19.3	34.3	Balçıklı Kil	6.34	112	2.51
	30-60	55.4	10.4	34.2	Kumlu Kil	5.36	259.7	0.62
	60-100	68.2	7.8	24.0	Kumlu Killi Balçık	5.28	315	0.27

Çalışma alanına genel olarak bakıldığında kil oranının kum ve toz oranına göre her derinlik kademesinde yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 4). Bunun nedeni alana daha önceden ağır killi toprağın dökülüp yayılmasıdır. Toprak pH bakımından 4.76-6.46 arasında asitli olup EC bakımından tuzsuz karakterdedir. Derinlik kademeleri açısından incelendiğinde toprak tepkimesinin genel olarak derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Bunun nedeninin toprağın sıkışık olmasından dolayı bazik kationlar yıkanmadığı için pH oranını düşürmektedir (Akalan, 1987). Toprak organik madde miktarı üst toprakta (0-10cm ve 10-30cm), alt toprağa (30-60cm ve 60-100cm) göre daha yüksektir. Kırış (2009), yaptığı çalışmada genelde üst topraktaki organik madde miktarını alt toprağa nazaran daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Alt toprak derinlik kademelerinde ise birbirine yakın oranlar söz konusudur.

Boztepe Ormanı, kent içindeki konumu ve büyüklüğü açısından Trabzon için önemli bir yeşil alandır. Kent ormanına erişilebilirlik kentsel alanların fonksiyonel kullanımı açısından önemli kriterlerden biridir (Turna, 2017). Kent merkezine yakınlığı bakımından herkes için kolay erişebilir

olan bu alanda etrafında yer alan kafe, park gibi mekânların varlığı nedeniyle tüm kentten kullanıcılara rastlanmaktadır. Boztepe Ormanını değerlendirdiğimizde büyük bir alan olmasına rağmen farklı kullanımlara olanak sağlayan mekânlar bulunmamaktadır. Mevcut kullanımlarda da estetik ve fonksiyonellik sağlanamamıştır. Bu doğrultuda bitkisel tasarım ve estetik değer açısından baktığımızda, alan zayıf özellikler göstermektedir. Bu bağlamda alanda bitkisel öğelerin kullanımının genel olarak başarılı olmadığını söylemek mümkündür. Alanda daha çok boylu ağaç gruplarına yer verilmiştir; yer örtücü ve çalılara yer verilmemiştir. Alanda genel olarak iğne yapraklı türler baskın olmakla birlikte yer yer geniş yapraklı türlere de yer verilmiştir. Bitkisel tasarımda iğne yapraklı türlerin yanında geniş yapraklı türlere yer verilmesi estetik değeri arttırmakla birlikte kentin ekolojik dengesine de katkı sağlamaktadır. Alanda bulunan iğne yapraklı türlerden doğu ladini ve fıstıkçamı türleri grup halinde sıralar şeklinde dikilmiştir. Buda alanın sıkıcı görünmesine neden olmaktadır. Ayrıca alanda yeşil renk hâkim olmakla birlikte az da olsa farklı renklere de rastlanmıştır. Oysa çeşitli renklere bitkilerin daha fazla kullanılması ile

alanın dört mevsim yaşaması sağlanabilir (Sakıcı vd., 2013).

Boztepe Ormanı büyüyen kentleşme içerisinde kentin akciğeri konumundadır. Kent iklimini iyileştirip hava kalitesini artırır (Dirik, 1991; Akbari vd., 1992; Aksoy, 2001). İnsanlar için ise kent yoğunluğundan kaçış noktasıdır. Bu doğrultuda kullanım olanakları açısından alana baktığımızda insanlar başta piknik olmak üzere, dinlenmek, eğlenmek ve yürüyüş yapmak için alanı kullanmaktadır. Fakat alan bu etkinlikler için yeterli olanağı sunmamaktadır. Çünkü alanda oturma mekanları, yürüyüş yolları, oyun alanı gibi farklı kullanımlar bulunmamaktadır. Bu nedenle farklı yaş gruplarına yeterli hizmet vermemektedir. Park alanında verilen hizmet kalitesinin yükseltilmesi ve tatmin seviyesinin artırılması, park planlaması süreçlerine etki eden parametrelerin bu doğrultuda düzenlenmesi ve uygulanması ile mümkündür (Onsekiz ve Emür, 2008). Bunun yanında çalışma alanında donatı elemanlarının (çöp kovası, otuma bankları, uyarı ve yönlendirme levhaları, aydınlatma gibi) eksik olduğu gözlemlenmiştir.

4. Sonuç ve öneriler

Araştırma Atatürk Köşkü Ormanı, Boztepe Ormanı ve Lütfi Göktaş Parkı'nda gerçekleştirilmiştir. İncelenen bu alanların tür çeşitliliğine bakıldığında Atatürk Köşkü Ormanındaki ağaçların %85.2'lik büyük bir kısmı doğu ladini ağaçlarından az bir kısmı da sarıçam ve sahil sekoyası ağaçlarından oluşmaktadır. Boztepe Ormanının da %76.5'lik bir oranla doğu ladini ağaçları oluşmaktadır. Bunun yanında fıstıkçamı, sarıçam ve yalancı akasya türleri de az bir bölümü kaplamaktadır. Yani bu iki alana bakıldığında, alanların doğu ladini ağaçlarından oluştuğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Lütfi Göktaş Parkı'nda ise genel anlamda baskın olarak sahil sekoyası, Avrupa ladini ve sahil çamı türleri bulunmakta olup diğer türler birbirine yakın oranlar göstermektedir.

Atatürk Köşkü Ormanı ve Boztepe Ormanının estetik özellikleri açısından, kent insanların ihtiyaçlarını karşılayacak nitelikte olmadığı tespit edilmiş olup bitkisel tasarım ve donatı olarak alanların yeniden tasarlanması ve planlanmasının gerektiği düşünülmektedir. Boztepe Ormanında kullanılan tür sayısı az olduğu gibi daha çok iğne yapraklı türler tercih edilmiş ve bitkilerin renk, form ve tekstür özelliklerinden yararlanılmamıştır. Bu doğrultuda yeniden yapılacak bitkisel tasarımlarda alanların tekdüzeliğini kırmak için farklı form ve renklerde bitkilere yer verilmelidir.

Bu anlamda kullanılacak farklı ağaç, ağaççık ve çalı türleri ile alana hareketlilik ve çekicilik kazandırılmalıdır. Atatürk Köşkü Ormanında 2018 yılında yapılan çalışmalarda var olan türlere monotonluğu ortadan kaldıracak yeni türler eklenmiştir.

Bitki seçiminde yörenin mevcut iklim, toprak, su vb. yapısı dikkate alınarak bitkiler dikilirken bitkilerin ileri ki yıllarda alacağı boy ve taç genişliği de dikkate alınmalıdır. Ayrıca çim alanların tesisi ve çiçek parterleri de oluşturularak alan görsel olarak daha çekici hale getirilmelidir. Atatürk Köşkü Ormanı ve Boztepe Ormanı'nın bitkisel kompozisyonunda görülen eksikliklerine bakıldığında, Lütfi Göktaş Parkı'nın bitkisel tasarım açısından yeterli estetik ve işlevsel özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Boztepe Ormanında kapalılığın sebep olduğu olumsuz durumları ortadan kaldırmak için bakım kesimi yapılmalıdır. Bakım kesiminde öncelikle sağlıklı, cılız fertler çıkartılmalı, meşcerede boşluklar oluşturmak için kalacak ağaçların alana düzenli dağılımı sağlanmalıdır. Kentsel yeşil alanlarda bu iyileştirme ve düzenleme çalışmaları yapılırken daha sağlıklı sonuçları elde edilebilmek için uzman kadrolar görevlendirilmelidir.

Tür seçiminde yetişme ortamı özellikleri, iklim ve türlerin morfolojik özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Atatürk Köşkü Ormanı ve Boztepe Ormanı için, görsel açıdan estetik, renkli çiçeklere sahip; *Crataegus* spp. (alıç), *Sorbus* spp. (üvez), *Abelia grandiflora* (büyük çiçekli kelebek çalısı), *Cotoneaster* spp. (taş elması), *Berberis thunbergii* (hanım tuzluğu), *Cornus mas* (kızılçık), *Nerium oleander* (zakkum), *Eunonymous japonicus* (taflan), *Syringa vulgaris* (leylak), *Viburnum oppulus* (kartopu) gibi çalı türleri de önerilebilir. Trabzon ili iklim açısından birçok bitki türü için elverişli olduğundan bu örneklerin sayısını arttırmak mümkündür.

Boztepe Ormanı ve Atatürk Köşkü Ormanı toprak yapısına ilişkin yapılan incelemeler sonucunda alandaki toprağın kilce çok zengin, dolayısıyla ağır kil ya da balçıklı kil topraklarından oluştuğu sonucuna varılmıştır. Ağır topraklar kilce çok zengin ve sıkı olduklarından geçirimsizdirler. Dolayısıyla bitki köklerine temin ettikleri hava, daha doğrusu oksijen yetersiz kalmaktadır. Böylece kök gelişimi durmakta ve oksijensiz koşullarda ölmektedir. Bunun sonucunda ağaçlarda kurumalar gerçekleşmektedir. Ağaçlarda oluşan kurumalar bu iki ormanda görülen önemli sorunlardan biridir. Arazinin mevcut yapısını

bozabilecek büyüklüklerden kaçınılarak teraslar halinde toprak işleme yapılabilir.

Teşekkür

Bu makale, Tuğba Pehlivan (Sevimli) tarafından KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanan "Kentsel Yeşil Alanların Peyzaj ve Silvikültürel Yönden Değerlendirilmesi: Trabzon Örneği" adlı yüksek lisans tezinin bir bölümüdür.

Kaynaklar

Acar, C. and Sakıcı, Ç. (2008). Assessing landscape perception of urban rocky habitats. *Building and Environment*, 43, 1153-1170. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.02.026>.

Akalan, İ. (1987). Toprak bilgisi. Ders Kitabı, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No:1058.

Akbari, H., Davis, S. and Dorsano, S. (1992). Cooling our communities: a guidebook on tree planting and light-colored surfacing. 22P-2001. Washington, DC: U.S. Environment Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division.

Aksoy, Y. (2001). İstanbul kenti yeşil alan durumunun irdelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aksoy, Y. (2008). Landscape architecture. Ders Notları, Bahçeşehir Üniversitesi Mimarlık Fakültesi.

Anonim, (2018). Atatürk köşkü değerlendirme raporu, (Prof.Dr.Mahmut Eroğlu, Prof.Dr.Ömer Kara ve Prof.Dr.İbrahim Turna), 17s, Trabzon.

Ceylan, A. (2007). Yaşam kalitesinin artırılmasında kentsel yeşil alanların önemi ve kentsel dönüşüm ile ilişkilendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çakar, S. (2012). Kent ağaçlarında iyileştirme çalışmalarının değerlendirilmesi: İstanbul örneği. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Çepel, N. (1988). Orman ekolojisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları. İ.Ü. Yayın No: 3518, O.F. Yayın No.: 399. ISBN: 975 - 404 - 061 - 3. Üçüncü Baskı, İstanbul.

Dirik, H. (1991). Kent ağaçları. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt 41, Sayı 3-4, 69-81.

Elinç, H. (2011). Görsel kalite değerlendirme yöntemi ile Antalya ili Alanya ilçesindeki Abdurrahman Alaettinoğlu ve Alanya belediye başkanları kent

parklarının irdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Gül, A. ve Küçük, V. (2001). Kentsel açık-yeşil alanlar ve Isparta kenti örneğinde irdelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A2, 1302-7085, 27-48, Isparta.

Gülpınar Sekban, D. Ü., Bekar, M. ve Acar, C. (2018). Kent parklarının bitkisel tasarım yönünden değerlendirilmesi, Trabzon örneği. 1. Uluslararası Eğitim ve Sosyal Bilimlerde Yeni Ufuklar Kongresi Bildiriler Kitabı, 9-11 Nisan 2018, İstanbul.

Kırış, K. (2009). Gümüşhane Torul yöresi saf sarıçam meşcerelerinde kalın kök kütlesi değişiminin ve bazı toprak özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.

Kowarik, I. (2011). Novel urban ecosystems, biodiversity and conservation. *Environmental Pollution*, 159 (8-9), 1974-198. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.02.022>.

Kuchelmeister, G. (2000). Des Abies pour millenaire urbain: le point sur le foresterie urbaine. *Arbres Hors Forest*, 51, 49-55, Unasylva.

Kurdoğlu, B.Ç. ve Pirselimoglu, Z. (2011). Yol ağaçlarının anlamsal değerlendirilmesine yönelik bir çalışma. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12(2), 211-221, Artvin.

McDowell, M.J. (1997). The role and application of horticultural therapy with institutionalized older people. Master Thesis, McGill University, Montreal.

Oğuz, D. (1998). Kent parkı kavramı yönünden Ankara kent parklarının kullanım olgusu üzerinde bir araştırma. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Onsekiz, D. ve Emür, S.H. (2008). Kent parklarında kullanıcı tercihleri ve değerlendirme ölçütlerinin belirlenmesi. *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24 (1), 69-104.

Sakıcı, Ç. (2009). Ruh ve sinir hastalıkları hastanelerinde açık alan terapi ünitelerinin peyzaj tasarımı: Ataköy (Trabzon) ruh sağlığı ve hastalıkları hastanesi örneği. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Sakıcı, Ç., Karakaş, H. ve Kesimoğlu, M. D. (2013). Kastamonu kent merkezindeki kamusal açık yeşil alanlarda kullanılan bitki materyali üzerine bir araştırma. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13(1), 153-163.

- Smardon, R.C. (1990). Perception and aesthetics of the urban environment: review of the role of vegetation. *Landscape and Urban Planning*, 15 (1- 2), 85-106. [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(88\)90018-7](https://doi.org/10.1016/0169-2046(88)90018-7).
- Tarakcı Eren, E. ve Var, M. (2016). Parkların bitkisel tasarımında kullanılan taksonlar: Trabzon kent merkezi örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(2), 200-213. <https://doi.org/10.17474/acuofd.71993>.
- Turna, İ. (2017). Kent ormancılığı (kentsel yeşil alanlar). *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel yayın No:245, Fakülte Yayın No:43, 345s, Trabzon*.
- Turna, İ., Yazıcı, F. ve Atar, F. (2017). İstanbul ilindeki kent ağaçlarında budama çalışmalarının değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 1-10. <https://doi.org/10.24011/barofd.296795>.
- URL-1. (2015). <http://www.iha.com.tr/haber-trabzonda-kisi-basi-dusen-yesil-alan-859-metrekare-308501/>, 27 Mart 2015.
- Vural, H. (2020). Bingöl halkının yeşil alan kullanımı ve kent parkları yeterliliklerinin değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 22(1), 79-90. <https://doi.org/10.24011/barofd.671442>.
- Yılmaz, H. (2000). Bitki tanıma ve değerlendirme II iğne yapraklı bitkiler. *Ders Notları, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Erzurum*.
- Yuen, B. (1996). Creating the garden city: The Singapore experience. *Urban Studies*, 33, 955-970. <https://doi.org/10.1080/00420989650011681>.
- Zengin, N. (2010). Giresun ili Alucra Yöresi saf ve karışık sarıçam meşcerelerinde bazı toprak özelliklerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin*.

Su kayıp yönetimi için temel hesaplama araçlarının geliştirilmesi ve temel su kayıp bileşenlerinin analizi

Development of basic analysis tools for water loss management and analysis of basic water loss components

Mahmut FIRAT^{*1,a}, Salih YILMAZ^{2,b}, Cansu BOZKURT^{3,c}

¹İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44250, Malatya

²Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Malatya

³Ardahan Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Ardahan

• Geliş tarihi / Received: 19.10.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 18.02.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 28.02.2021

Öz

Su kayıp yönetimi, çeşitli yöntem ve süreçleri içermekte ve bu yöntemlerin kullanılması ile sürdürülebilir kentsel su yönetiminin sağlanması mümkün olmaktadır. Su ve enerji verimliliği ve sürdürülebilir su kayıp yönetiminde en uygun hesaplama araçlarının kullanılması ve uluslararası literatüre göre analiz yapılması önemlidir. Bu çalışmada, su kayıp yönetiminin sistematik, planlı ve sürdürülebilir bir şekilde yapılmasına esas teşkil eden temel su kayıp analizleri için hassas ve doğru analiz imkanı sunan hesaplama araçlarının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için web tabanlı çalışan, birbiri ile bütünleşik olan “su dengesi”, “minimum gece debisi” ve “altyapı kaçak indeksi” hesaplama araçları geliştirilmiş ve pilot veri seti için uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplama araçlarının, İdarelerde, sızıntıların yönetilmesinde, su kayıp yönetim performanslarının izlenmesinde, sistem verimliliğinin sağlanmasında, sızıntı hesaplarının daha sistematik ve hassas bir şekilde yapılmasında, su kayıp yönetimi hesaplamalarının uluslararası standartlara göre yapılmasında önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Hesaplama aracı, İçmesuyu dağıtım sistemi, Su dengesi, Su kayıpları, Su kayıp yönetimi

Abstract

Water loss management includes various methods and processes, and it is possible to ensure sustainable urban water management to use these methods. However, it is important to use the most appropriate tools and to analyze according to international literature in water and energy efficiency and sustainable water loss management. In this study, it is aimed to perform basic water loss analysis, which is the basis for systematic, planned and sustainable water loss management, and to develop analysis tools that provide more precise and accurate analysis. For this purpose, web-based, integrated "water balance", "minimum night flow" and "infrastructure leakage index" calculation tools have been developed and an application has been made for the pilot data set. It is thought that these calculation tools will provide significant contributions in the management of spills, monitoring water loss management performances, ensuring system efficiency, making leakage calculations more systematically and precisely, and making water loss management calculations in accordance with international standards.

Keywords: Analysis tool, Water balance, Water distribution system, Water losses, Water loss management

*^a Mahmut FIRAT; mahmut.firat@inonu.edu.tr, Tel: (0422)377 48 80, orcid.org/0000-0002-8010-9289

^b orcid.org/0000-0002-3206-1225

^c orcid.org/0000-0002-0987-1297

1. Giriş

Su kayıplarının en önemli bileşeni olan fiziki kayıplar, kaynaktan aboneye kadar olan tüm aşamalarda meydana gelebilmekte ve su kaynağının verimsiz kullanılmasına neden olmaktadır. Fiziki kayıpların önlenmesi ve yönetilmesi için, kayıp bileşenlerinin bilinmesi, doğru araç ve yöntemlerle analiz yapılması, sızıntı oluşma şekline göre (belirsiz, rapor edilen ve rapor edilmeyen) en uygun stratejinin belirlenmesi ve izleme politikasının ortaya konulması gerekir. Bunların uygulanmasıyla, su kaynağı verimliliğinin sağlanması, daha az su üretilmesi, arıza bakım onarım maliyetlerinin düşürülmesi, abonelere yüksek hizmet kalitesinde güvenilir su iletilmesi mümkün olacaktır. Fiziki kayıpların izlenmesinde ve yönetilmesinde, standart su dengesinin uygulanması ve performansın izlenmesi (Mutikanga vd., 2009; Puust vd., 2010; Mutikanga vd., 2013; Songur vd., 2013; Zyoud vd., 2016; Eggimann vd., 2017; McKenzie vd., 2008; Gupta ve Kulat 2018), minimum gece debisinin izlenmesi, günlük olarak potansiyel önlenebilir sızıntıların belirlenmesi (Fallis vd., 2011; Eugene, 2017; Farah ve Shahrour, 2017; García ve Cabrera, 2007; Zaman vd., 2020), fiziki kayıplarla mücadelede sistemin performansının izlenmesi ve diğer sistemlerle kıyaslanması için altyapı kaçak indeksinin hesaplanması (Liemberger ve Farley, 2004; Farley ve Liemberger, 2005; Liemberger vd., 2007; Hamilton vd., 2006), basınç yönetiminin uygulanması (Fantozzi vd., 2009; Roshani ve Fillion, 2014; Fontana vd., 2018) ve boru malzemesi yönetimi (Kleiner vd., 2001; Moglia vd., 2006; Nafi vd., 2008; Mann ve Frey, 2011; Cavazzini vd., 2020) gibi çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerin seçilmesinde ve uygulanmasında, sistemin mevcut koşulları, İdarenin bakış açısı, ekonomik ve alt yapı koşulları gibi birçok faktör etkilidir. García ve Cabrera (2007) minimum gece debisi yardımıyla günlük sızıntıları analiz etmiş, su kayıp hacimlerini etkileyen faktörleri analiz etmiş ve debi-basınç ilişkisini ifade eden denklemleri kullanarak tahmin gerçekleştirmiştir. Cheung vd., (2010) su şebekelerindeki kayıpların değerlendirilmesinde İdareler tarafından sıklıkla kullanılan minimum gece debisi analizi yöntemi ile kalibrasyon sürecinde kaçakları tahmin etmek için yeni bir hesaplama metodolojisi geliştirmiştir. Sonuçlar, kalibrasyon metodu (49.73 m³) ve minimum gece debisi (MNF) metodu (52.53 m³) kaçak tahminlerinin benzer sonuçlar verdiğini, kalibrasyon yönteminin gerçeğe daha çok yakınsama yaptığını göstermiştir. Karadirek vd., (2012) su kayıplarının değerlendirilmesi ve analizi

için 18 izole bölgede SCADA sistemi ile izleme gerçekleştirmiştir. Çalışmada, izole bölgelerde minimum gece debi analizi yapılmış, alt yapı kaçak indeksi hesaplanmış ve performans analiz edilmiştir. Toprak vd., (2013) dağıtım sistemlerindeki kayıpların izlenmesi ve önlenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Çalışmada, dağıtım sistemlerindeki kayıpların belirlenmesi için fuzzy kural tabanlı model geliştirilmiş ve saha verileri kullanılarak test edilmiştir. Fuzzy kural tabanlı modelin su kayıpların belirlenmesinde güvenilir sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Choi vd., (2015) su kayıplarının değerlendirilmesinde kullanılan su dengesi ve sızıntı tahmini gibi yöntemlerin aksine yeterli verinin elde edilemediği sistemler için, olasılık yöntemine dayalı Bayesian yaklaşımının kullanılmasını önermiştir. Eugene (2017) içmesuyu dağıtım sistemlerindeki kayıpların hesaplanmasında ölçülebilir alt bölge, su dengesi yöntemi ve gece akışının modellenmesi gibi yöntemleri esas alarak yeni bir model geliştirmiş ve modelin su dağıtım sistemlerinde kaçak tahminlerinde iyi sonuç verdiğini ifade etmiştir. Farah ve Shahrour (2017) su kayıplarını tahmin etmek için geliştirilmiş minimum gece debisi yöntemiyle birlikte kullanılan akış eşiklerini belirleyerek yöntemi iyileştirmeyi amaçlamıştır. Geliştirilen strateji yüksek düzeyde sızıntı tespitine olanak sağlamakta ve 2015 yılında %43 olan kayıp oranı 2016 yılında %7 değerine düşürülmüştür. Karadirek (2017) su kayıplarının yönetilmesinin dağıtım sistemlerinin verimliliğinin iyileştirilmesinde, su ve enerji verimliliğinin sağlanmasında önemli katkı sunduğunu vurgulamıştır. Çalışmada Türkiye’de kayıp oranının yaklaşık % 43.6 seviyesinde olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada su kayıplarının değerlendirilmesinde çeşitli performans göstergeleri dikkate alınmış ve uygulama gerçekleştirmiştir. Jadhao ve Gupta (2018) bir su şebekesinin hidrolik modelinin gerçek zamanlı akış ve basınç verilerini kullanarak kalibrasyonunu kurmayı hedeflemişlerdir. Bunun için, boru uzunlukları, çapları, montaj yılı ve malzemesi, sisteme verilen toplam su hacmi, tüketilen su hacmi, günlük su tüketimi, faturalandırılan su tüketimi, basınç, akış, vana tipi, sayısı ve cinsi, abone sayısı, nüfus gibi parametreler elde edilmiştir. Karakaya ve Toprak (2018) su kaynaklarının sınırlı olması, suya erişimin ve şebeke maliyetinin artması nedeniyle mevcut içme suyu şebekelerindeki kayıp ve kaçakların izlenmesinin ve kontrolünün önem kazandığını ifade etmiştir. Çalışmada, içme suyu dağıtım sistemlerindeki kayıp ve kaçakların önlenmesi için doğru bir şekilde tespitinin yapılması gerektiği vurgulanmış ve ZFT algoritması kullanılarak

Türkiye’de içme suyu şebekelerindeki kayıp ve kaçaklar sınıflandırılmıştır. [Lipiwattanakarn vd., \(2019\)](#) sızıntıların önlenmesi ve azaltılmasının enerji ve sistem işletme maliyeti üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Uygulama alanında izole bölgede sızıntıların onarılmasından sonra izole bölge giriş debisinin %9 azaldığını, buna bağlı olarak sistem giriş enerjisinde ise %8 azalma tespit edildiği, aktif kaçak kontrolü uygulanmasıyla sistem verimliliğinin iyileştiği vurgulanmıştır. [Creaco vd., \(2019\)](#) gerçek zamanlı kontrol ve otomasyon sistemleri ile su dağıtım sistemlerinin ve bileşenlerinin (sistem basıncı, depo seviye, pompa çalışma süresi ve enerji optimizasyonu, basınç kontrol vanaları vb.) izlenmesi ve kontrol edilmesinde önemli faydalar sağladığını vurgulamıştır. [Boztaş vd., \(2019\)](#) dağıtım sistemlerinde servis bağlantılarında meydana gelen arızaların sızıntılara ve su kayıplarına etkisini araştırmış ve saha verilerine göre servis bağlantılarında işçilik ve malzeme kalitesi iyileştirilerek arıza ve sızıntı oranının azaltılabileceğini vurgulamıştır. [Yazdekhasti vd., \(2020\)](#) su ve ekonomik verimliliğin sağlanması ve sürdürülebilir kentsel su yönetiminin sağlanması için sızıntıların tespit edilmesi ve bunun için en uygun tespit yöntem ve ekipmanlarının kullanılması gerektiğini ifade etmiştir. [Jafari-Asl vd., \(2020\)](#) dağıtım sistemlerinde basıncın sızıntı üzerindeki etkisinin azaltılması için optimizasyon tabanlı bir model ile basıncın azaltılması ve yönetilmesini amaçlamış ve basıncın izlenmesi ile sızıntıların önemli oranda azaltılabileceği vurgulanmıştır.

Bu çalışmada, su kayıp yönetiminin sistematik, planlı ve sürdürülebilir bir şekilde yapılmasına esas teşkil eden temel su kayıp analizlerinin gerçekleştirilmesi ve daha hassas ve doğru analiz imkanı sunan hesaplama araçlarının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için web tabanlı çalışan, birbiri ile bütünleşik olan “su dengesi”, “minimum gece debisi (MNF)” ve “Altyapı Kaçak İndeksi (ILI)” hesaplama araçları geliştirilmiş ve pilot veri seti için uygulama gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bu araçların avantajları, kullanım şekilleri ve Su İdareleri ve Belediyeler için sağlayacağı faydalar, temel bileşenlerin su kayıp yönetimindeki rolü tartışılmıştır.

2. Materyal ve metot

2.1 Su kayıp yönetimi ve önemi

Dağıtım sistemlerinde veya iletim hatlarında, fiziksel, çevresel ve işletme faktörlerine bağlı olarak oluşan sızıntıların farkına varılması, tespit

edilmesi, önlenmesi, kontrolü ve yönetilmesi oldukça maliyetli ve zaman alıcı süreç ve yöntemleri içermektedir ([Liemberger ve Farley 2004; Farley vd., 2008](#)). Su İdarelerinde su kayıp yönetimi kapsamında bahsedilen bu faaliyetlerin yapılabilmesi için teknik, teknolojik, ekonomik, personel ve ekipman anlamında yeterli alt yapının olması ve en önemlisi uzun dönemli stratejik planın yapılması gerekmektedir ([Farley ve Liemberger 2005](#)). Su kayıpları, idari ve fiziki kayıplar olmak üzere iki farklı türde kayıp meydana gelmekte ve bunların oluşmasında oldukça fazla faktör etkili olmaktadır ([Lambert, 2002; Farley vd., 2008](#)). İdari kayıplar, aboneler tarafından tüketilen ancak ücreti alınmayan bileşenleri içermektedir. Fiziki kayıplar ise, isale hattı, dağıtım sistemi ve elemanlarında meydana gelen sızıntıları kapsamaktadır. Bu kayıpların hacimsel olarak en yüksek oranını oluşturan fiziki kayıplar, oluşma şekline göre; belirsiz (arkaplan) sızıntılar, rapor edilen ve rapor edilmeyen sızıntılar şeklinde sınıflandırılmaktadır ([Lambert, 2002; Lambert ve Liemberger, 2007; Farley vd., 2008](#)). Belirsiz sızıntılarda, sızıntı debisi genellikle 250 litre/saat değerinden küçük olmakta, bağlantı noktaları veya boru gövdesinde küçük kılcal çatlaklarda gözlenmekte ve akustik yöntemlerle tespit edilmesi mümkün olmamaktadır ([Lambert, 2002; Farley vd., 2008](#)). Diğer taraftan, arızaların belli bir kısmı yüksek basınç ve arızanın meydana geldiği yer gibi birçok faktöre bağlı olarak yüze çıkmakta, farkına varılması ve yerinin tespiti daha kısa sürede gerçekleşmekte ve onarılmaktadır. Ancak fiziki kayıpların önemli bir kısmı yüze çıkmamakta (rapor edilmeyen sızıntılar) ve farkına varılması, belirlenmesi ve önlenmesi için aktif kaçak kontrolü (ALC) yönteminin uygulanması gerekmektedir ([McKenzie vd., 2002; Farley ve Liemberger 2005; Mutikanga vd., 2013](#)). ALC, temel olarak yüze çıkmayan arızaların belirlenmesi, yerinin tespit edilmesi ve onarılması faaliyetlerini kapsamaktadır. ALC, birçok yöntem ve aracı içerdiği için sistemin koşulları, mevcut işletme özellikleri, uygulanacak yöntemlerin gereksinimleri gibi faktörler göz önüne alınmalıdır. Ayrıca bu yöntemlere ait hesaplamaların yapılması, sonuçların değerlendirilmesi ve performansının izlenmesi için sistematik yaklaşımların veya hesaplama araçlarının uygulanması önemli katkılar sunmaktadır. Ancak birçok İdarede su kayıp yönetiminde genelde rapor edilen sızıntıların onarılmasını ve mücadelesini esas alan pasif kaçak kontrolü yeterli görülmemekte ve ALC yöntemleri dikkate alınmamaktadır. ALC yaklaşımının uygulanmamasının sebepleri temel olarak, (i) İdarenin su kaynağı sorununun olmaması veya su üretimi için enerji maliyetlerinin

çok düşük olması, (ii) yönetimin gerekli önemi vermemesi, farkındalığın olmaması, (iii) İdarede ALC uygulanması için gerekli alt yapı koşullarının olmaması, şeklinde açıklanabilir. Ancak sürdürülebilir kentsel su yönetiminde, (i) su ve enerji verimliliğinin sağlanması, (ii) yeni kaynak kullanımının ötelenmesi, (iii) su üretim ve işletme maliyetlerinin azaltılması, (iv) hizmet kalitesinin iyileştirilmesi, abone memnuniyetinin ve uzun dönemli su kayıp yönetiminin sağlanması için, doğru ve uygun yöntemleri ve araçları içeren ALC yaklaşımının uygulanması oldukça önemlidir.

2.2. Temel su kayıp analizleri için hesaplama araçlarının geliştirilmesi

Su kayıp yönetiminde ALC yaklaşımı altında uygulanan temel yöntemler, (i) Uluslararası Su Birliği (IWA) standart su dengesi metodolojisi, (ii) minimum gece debisi analizi, (iii) alt yapı kaçak indeksi (ILI) ile sızıntı analizi, şeklinde verilebilir. Bu yöntemlerin sadece bir veya birkaçının uygulanması sistemde iyileştirme sağlasa da, tam anlamıyla sistemi temsil edecek analizin ortaya konulması ve sürdürülebilir bir şekilde uygulanması açısından tamamının uygulanması gerekir. Ancak bu yöntemlerin uygulanması, sonuçların çapraz doğrulanması ve en önemlisi bu analizlerin sistematik ve doğru bir şekilde yapılması için kullanıcı dostu hesaplama araçlarının kullanılması gerekir. Bu çalışmada su kayıp analizlerini gerçekleştiren, Su İdareleri ve Belediyeler için daha hassas ve kolay analiz imkânı sunan ve en önemlisi birbiri ile bütünleşik çalışan modüllerden oluşan “temel su kayıp analizleri için hesaplama araçları” geliştirilmiştir. Geliştirilen bu araçlar toplamda üç modülden oluşmakta, veri ve analiz sonuçları birbiri ile bütünleşik çalışmakta ve literatürde önerilen sınır değerler ile İdarenin performansını kıyaslama imkânı sunmaktadır. Ülkemizde son yıllarda sürdürülebilir su kayıp yönetimi için ALC ve bileşenleri (izole bölgelerin oluşturulması) uygulanmaktadır. Özellikle izole ölçüm bölgelerinin oluşturulması diğer yöntemler için temel teşkil etme özelliğindedir. Su kayıplarının azaltılması amacıyla 2016-2018 yılları arasında Malatya Su ve Kanal İdaresi tarafından merkez dağıtım sisteminde izole bölge çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada su kayıp yönetimi için temel bileşenlerin hesaplanması ve bu hesaplamaların gerçekleştirilmesi için geliştirilen hesaplama araçlarının test edilmesi amacıyla Malatya içme suyu dağıtım sisteminde oluşturulan ve karakteristik özellikleri Tablo 1’de verilen 5 pilot bölgeye ait veri setleri kullanılmıştır (MASKİ, 2018).

3. Bulgular

3.1. Standart su dengesi analiz modülü

Su kayıpları ve alt bileşenlerinin hesaplanması, değişimlerin izlenmesi ve performansının analizinde kullanılan en temel araç IWA tarafından önerilen standart su dengesi yöntemidir (Lambert vd., 1999; Lambert, 2002). Literatürde su kayıplarının değerlendirilmesi ve su dengesinin hesaplanmasında, AWWA (2014) tarafından önerilen (excel tabanlı) “AWWA water audit software” ve Liemberger vd. (2018) tarafından “WB-EasyCalc software” önerilmiştir. Su dengesinin saha verilerine göre doldurulması durumunda, su kayıplarının alt bileşenleri hakkında değerlendirme yapılması, iyileştirilmesi gereken alanların belirlenmesi ve öncelik verilmesi gereken bileşenlerin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Ancak özellikle yeterli alt yapının olmadığı İdarelerde bileşenlere ait verilerin temin edilmesi birçok durumda mümkün olmayıp sadece tahmini bir şekilde doldurulmaktadır. Tablonun bu şekilde doldurulması, İdare için referans oluşturacak verilerin üretilmesine ve performansın iyileştirilmesi için öncelikli müdahale edilecek bileşenlerin belirlenmesine engel olmaktadır. Daha hassas analiz ve değerlendirme yapabilmek ve sahayı temsil edecek veri üretebilmek için bu yöntemlerin birlikte kullanılması ve doğrulama yapılması oldukça önemlidir. Su tüketim karakteristiği, şebeke ve abone davranışı, sistem giriş debisi ve arıza oranları mevsimsel olarak değiştiğinden dolayı, su kayıp yönetiminde su dengesi ile analiz yapılırken genelde yıllık olarak bütçe çıkarılması ve buna göre değerlendirme yapılması gerekir. Ancak izole bölge veya sistemin performansının izlenmesi ve analiz edilmesi açısından aylık olarak da doldurulur. Ülkemizde Su İdarelerinde yıllık su bütçesinin yapılması ve performansının izlenmesi için su dengesinin doldurulması ve yıllık olarak Bakanlığa bildirilmesi istenmektedir. Su dengesinin sistematik ve doğru bir şekilde doldurulması için ve kullanıcıların daha kolay analiz yapması için uygun hesaplama araçlarının kullanılması önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada Su İdarelerinin daha kolay ve hassas analiz yapmasına imkan tanıyan ve bölge veya sistem performansını izleme imkânı sunan web tabanlı “su dengesi hesaplama aracı” geliştirilmiştir (Şekil 1). Geliştirilen hesaplama aracı, T.C Tarım ve Orman Bakanlığı’nın İdarelerinden ve Belediyelerden talep ettiği hesaplamaları içermektedir. Veri giriş ekranı incelendiğinde, bir sistem için giriş debisinin yanı sıra eğer sistemden çıkış varsa bu değer de girilmesi istenmekte ve buna göre

“Sistem net giriş (SIV)” hesaplanmaktadır. Ayrıca, bileşenlere ait değerlerin hacim veya SIV % si şeklinde giriş veri girişi yapılabilmektedir. Su

dengeşi analizinde yapılan en önemli hata sayaçlarda meydana gelen kayıpların hesaplanmasında gösterilebilir.

Form Tipi	Değişken Adı	(a)	Değer / (Yüzdeler)	Birim
Su Dengesi	Sisteme Giriş Hacmi		69220 m ³	<input checked="" type="radio"/> m ³
Su Dengesi	Diğer Sistemlere İletilen Hacim(Çıkış Hacmi)		0 m ³	<input checked="" type="radio"/> m ³
Su Dengesi	Sistem Net Giriş Hacmi(SIV)		69,220.00 m ³	<input checked="" type="radio"/> m ³
Su Dengesi	Faturalandırılmış Ölçülmüş Yasal Kullanım		36000 m ³	<input checked="" type="radio"/> m ³ <input type="radio"/> (% SIV)
Su Dengesi	Faturalandırılmış Ölçülmemiş Yasal Kullanım Bilgi Al		0 m ³	<input checked="" type="radio"/> m ³ <input type="radio"/> (% SIV)
Su Dengesi	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Yasal Kullanım Bilgi Al		0 m ³	<input checked="" type="radio"/> m ³ <input type="radio"/> (% SIV)
Su Dengesi	Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Yasal Kullanım Bilgi Al		0 m ³	<input checked="" type="radio"/> m ³ <input type="radio"/> (% SIV)
Su Dengesi	Yasadışı-Kaçak Kullanım Oranı Bilgi Al		304.57 m ³ 0.44 (% SIV)	<input type="radio"/> m ³ <input checked="" type="radio"/> (% SIV)
Su Dengesi	Abone Sayaç Hata Oranı Bilgi Al		3.92 %	<input checked="" type="radio"/> %
Su Dengesi	Depolarda Meydana Gelen Kayıp Oranı(Fiziki Kayıp Hacminin % si) Bilgi Al		0 %	<input checked="" type="radio"/> %

(1) Sistem NET Giriş Hacmi (SIV) 69,220.00 m ³ %100	(10) Yasal Kullanım 36,000.00 (m ³ /yıl) (% 52.01)	(4) Faturalandırılmış Yasal Kullanım 36,000.00(m ³ /yıl) (% 52.01)	(2)Faturalandırılmış Ölçülmüş Yasal Kullanım 36,000.00 (m ³ /yıl) (% 52.01)	(5) Gelir Getiren Su 36,000.00 (m ³ /yıl) (%52.01)	
		(7) Faturalandırılmamış Yasal Kullanım 0.00 (m ³ /yıl) (%0.00)	(3) Faturalandırılmış ölçülmemiş Yasal Kullanım 0.00 (m ³ /yıl) (%0.00)		
	(11) Toplam Su Kayıpları 33,220.00 (m ³ /yıl) (%47.99)	(15) İdari Kayıplar 1,715.77(m ³ /yıl) (% 2.48)	(8) Faturalandırılmamış Ölçülmüş Yasal Kullanım 0.00 (m ³ /yıl) (%0.00)	(9) Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Yasal Kullanım 0.00 (m ³ /yıl) (%0.00)	(6) Gelir Getirmeyen Su 33,220.00 (m ³ /yıl) (%47.99)
			(12) Yaşa Dışı - Kaçak Kullanım 304.57 (m ³ /yıl) (%0.44)	(13) Sayaç Hatalarından Kaynaklanan Kayıplar 1,411.20 (m ³ /yıl) (%2.04)	
(16) Fiziki Kayıplar 31,504.23 (m ³ /yıl) (%45.51)	(17) İletim Hatlarında Su Dağıtım Şebekelerindeki ve Servis Bağlantıları ile Sayaç Ana Borulardaki Kayıplar 31,504.23(m ³ /yıl) (%45.51)	(18) Depolardaki Kaçak, Depo Giriş ve Çıkışında Meydana Gelen Kayıplar (0.00)(m ³ /yıl) (%0.00)			

Şekil 1. Web tabanlı su dengesi hesaplama aracı ve pilot bölge için analiz sonuçları a) Veri giriş ekranı b) Sonuç ekranı

Şekil 1'deki su dengesi tablosunda, faturalandırılmış ölçülmüş tüketim, yasal abone tüketimlerini içermektedir. Faturalandırılmamış ölçülmüş kullanımlar, cami, park-peyzaj gibi yasal ancak ücreti alınmayan tüketimlerdir. Ayrıca faturalandırılmamış ölçülmemiş kullanımlar, yangın hidrantı, itfaiye gibi yasal, ölçülemeyen ve ücreti alınmayan tüketimleri kapsamaktadır. Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıplar, yasal abone sayaçlarındaki ölçüm hatalarının neden olduğu kayıplardır. Bu bileşende yasal abone tüketimi olduğu halde ücret alınmamaktadır. Gelir getirmeyen su, sisteme verilen ancak ücreti alınamayan bileşenleri içermektedir. Gelir getiren su ise, sistemde ücreti alınan yasal faturalandırılmış tüketimleri içerir.

3.2. Minimum gece debisi analiz modülü

Minimum gece debisi (MNF), rapor edilmeyen sızıntıların farkına varılmasında günlük olarak uygulanan en temel yaklaşımdır (Lambert vd., 1999; Liemberger ve Farley, 2004; Wu vd., 2018). Bu yöntemde temel prensip, su talebinin en düşük olduğu gece 02:00-04:00 saatleri arasında sistem giriş debisinin izlenmesi, gece yasal tüketimlerin tahmin edilmesi ve sistemdeki belirsiz sızıntıların hesaplanması, giriş debisinden bu iki bileşenin çıkarılması ile "akustik yöntemlerle tespit edilen potansiyel önlenebilir sızıntının" belirlenmesi şeklindedir (Lambert vd., 1999; Liemberger ve Farley 2004). Bunları gerçekleştirebilmek için, izole bir bölgenin tanımlanmış olması, bölge girişinde debi ve basıncın sürekli izlenmesi, insani gece tüketiminin ve belirsiz sızıntıların Burst and Background Estimate (BABE) denklemine göre tahmin edilmesi (Lambert, 1994) gerekir. Lambert (1994) tarafından önerilen ve MNF analizinde bu iki bileşenin tahmin edilmesi için geliştirilen BABE denklemi en temel yöntemdir. Gece tüketim hesabında (i) abone türü ve sayısı (konut, ticari), (ii) yaşayan kişi sayısı gibi veriler kullanılmaktadır. Belirsiz sızıntı hesabında ise, (i) şebeke uzunluğu (km), (ii) servis bağlantı sayısı (ana hat parsel arası), (iii) özel mülkteki servis bağlantı uzunluğu (km) (parsel bina arası), (iv) işletme basıncı, (v) sistem fiziksel durumuna ihtiyaç duyulmaktadır (Lambert, 1994; Lambert vd., 1999; Lambert 2002). Bu analizlerin sistematik yapılması, verilerin doğru girilmesi, katsayıların doğru belirlenmesi ve sistem karakteristiğine uygun bileşenlerin seçilmesi önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada, MNF analizinin gerçekleştirilmesi, gece yasal tüketimlerin ve belirsiz sızıntıların doğru bir şekilde hesaplanması, katsayıların doğru bir şekilde seçilmesi ve en önemlisi kullanıcıların için

hassas ve doğru analiz gerçekleştirilmesi için "minimum gece debisi hesaplama aracı" geliştirilmiştir (Şekil 2). Bu hesaplama aracının belirsiz sızıntı hesabında sağladığı avantajlar şu şekilde verilebilir;

- Şebeke veya servis bağlantılarının fiziki durumuna göre sızıntı katsayılarını belirleyen ICF katsayısının ve birim sızıntı katsayısının (C1) seçilebilir olması (Şekil 4 a),
- Servis bağlantılarında sayacın yerleşim durumuna (parsel sınırında veya binada) ve fiziksel durumuna göre C2 katsayısının seçilebilir olması (Şekil 4 b),
- Veri toplama durumun dikkate alınması, "tahmini veri" veya "gerçek saha verisi" seçeneklerini sunulması, buna göre hesaplama katsayılarının dikkate alınması (Şekil 3),
- Basınç düzeltme katsayısının farklı yöntemlere göre yapılabilmesi (Şekil 4c)

Ayrıca, gece yasal tüketim hesabında sağladığı kolaylıklar; (i) tüketim hesabında verisi bilinen bileşenlerin (abone sayısının ve türünün veya nüfusun) seçilebilir olması (Şekil 4 d), (ii) literatürde önerilen tüketim katsayılarının kullanılması veya bölgeye özel katsayılarının kullanılabilir olması şeklindedir. Bu hesaplamalar sonucunda giriş debisi dikkate alınarak "potansiyel olarak önlenebilir sızıntı" belirlenmektedir. Bu hesaplamalar günlük olarak yapılmakta, kullanıcılar için bölgeye ait önlenebilir sızıntılar belirlenmekte ve basınç seviyelerine göre sızıntı miktarı analiz edilmektedir. Bu hesaplama aracının İdarelerde, sızıntıların yönetilmesinde, sistem verimliliğinin sağlanmasında ve sızıntı hesaplarının daha sistematik ve hassas bir şekilde yapılmasında önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir. Tablo 1'de verilen sonuçlara göre, MNF ölçüm değeri, sistem girişinde gece saatlerinde ölçülen debiyi temsil etmektedir. Bölgenin özelliklerine göre bu debinin düşük seviyede tutulması esastır. Diğer taraftan hesaplama aracı kullanılarak MNF hesap değerleri elde edildikten sonra aradaki fark bölgede akustik yöntemlerle tespit edilmesi gereken sızıntıların göstermektedir. Görüldüğü gibi MNF değerinin hesaplanması, İdareler için önleme stratejilerinin geliştirilmesi ve yöntemlerin aktif şekilde uygulanması noktası referans oluşturma potansiyeli bulunmaktadır.

Form Tipi	Değişken Adı	(a)	Değer / (Yüzdalık)	Birim
MNF Analiz	Toplam Hizmet Edilen Nüfus	<input type="text" value="0"/> <input type="button" value="Bilgi Al"/>	0 kişi	<input checked="" type="radio"/> kişi
MNF Analiz	Hizmet Edilen Ticari Abone Sayısı	<input type="text" value="0"/>	0 adet	<input checked="" type="radio"/> adet
MNF Analiz	Hizmet Edilen Konut Abone Sayısı	<input type="text" value="3159"/>	3159 adet	<input checked="" type="radio"/> adet
MNF Analiz	Toplam Abone Sayısı (otomatik hesaplanmakta)	<input type="text" value="3159"/>	3159 adet	<input checked="" type="radio"/> adet
MNF Analiz	Şebeke Anahat Uzunluğu (Lm)	<input type="text" value="8.7"/>	8.7 km	<input checked="" type="radio"/> km
MNF Analiz	Servis Bağlantılarının Toplam Uzunluğu (Lp)	<input type="text" value="4.18"/>	4.18 km	<input checked="" type="radio"/> km
MNF Analiz	Toplam Servis Bağlantı Sayısı (Nc)	<input type="text" value="522.00"/>	522.00 adet	<input checked="" type="radio"/> adet
MNF Analiz	Ortalama Servis Bağlantı Uzunluğu (Lpx)	<input type="text" value="8.01"/> <input type="button" value="Bilgi Al"/>	8.01 m	<input checked="" type="radio"/> m
MNF Analiz	Şebeke Ortalama Yaşı	<input type="text" value="20"/>	20 yıl	<input checked="" type="radio"/> yıl
MNF Analiz	Bağlantı Yoğunluğu (Nc / Lm) (Otomatik Hesaplanmakta)	<input type="text" value="60.00"/>	60.00 sayı/km	<input checked="" type="radio"/> sayı/km
MNF Analiz	Ortalama Sistem Basıncı (P)	<input type="text" value="51"/>	51 m	<input checked="" type="radio"/> m
MNF Analiz	Ölçülen Minimum Gece Debisi	<input type="text" value="20.08"/>	20.08 l/s	<input checked="" type="radio"/> l/s

(b)				
Toplam Hizmet Edilen Nüfus	Nf	0	Kişi	<input type="button" value="bilgi Al"/>
Ticari Abone Sayısı	Ntic	0	adet	Yok
Konut Abone Sayısı	Nkonut	3159	adet	Yok
Toplam Abone	Ntoplam	3159	adet	Yok
Toplam Servis Bağlantı Sayısı (Nc)	Nc	522.00	adet	Yok
Servis Bağlantılarının Toplam uzunluğu (Lp)	Lp	<input type="text" value="4.18"/>	km	<input checked="" type="radio"/> Tahmini Veri <input type="radio"/> Gerçek Saha Verisi
Altyapı Fiziksel Durumu	ICF	<input type="text" value="1 (Sistem lyi)"/>	-	<input type="button" value="bilgi Al"/>
Basınç Düzeltme Çarpanı	PCF	<input type="text" value="Seç 1.08"/>	-	Yok
Şebeke Anahat Uzunluğu (Lm)	Lm	8.70	km	Yok
Ortalama Sistem Basıncı (P)	P	51.00	m	Yok
Boru Hattı sızıntı Çarpanı	C1	20.00	litre/şebeke uzunluğu(km)/saat	
Ev Bağlantıları Sızıntı Çarpanı	C2	<input type="text" value="Seç"/>	litre/servis bağlantı sayısı/saat	Yok

(c)				
Kaçınılmaz Sızıntı	QSızıntı	1,174.50 0.33	litre/saat l/s	Yok
İnsan Tüketimine Bağlı Minimum Gece Akımı	QTüketim	5,870.30 1.63	litre/saat l/s	<input type="button" value="bilgi Al"/> <input type="button" value="Değer Girin"/>
MINİMUM GECE AKIMI	MNF Hesap	7,044.80 1.96	litre / saat l/s	Yok
Ölçülen Minimum Gece Debisi	MNF Ölçüm	72,288.00 20.08	litre / saat l/s	Yok
Potansiyel Önlenebilir Sızıntı	Potansiyel Önlenebilir Sızıntı	65,243.20 18.12	litre / saat l/s	Yok

Şekil 2. Minimum gece debisi hesaplama aracı a) Veri giriş ekranı b) Katsayı belirleme ekranı c) Sonuç ekranı

(a)

Katsayı	Şebeke Fiziksel Durumuna Göre Katsayıların Belirlenmesi						
	1 (Sistem İyi)	1.5	2 (Sistem orta)	2.5	3 (Sistem Kötü)	3.5	4 (Sistem Çok Kötü)
Altyapı Fiziksel Durumu (ICF)							
C ₁ (litre/km/saat)	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00
C ₂ (abone sayacı/kontrol sayacı parsel sınırında ise) (litre/servis bağlantı/saat)	1.25	1.88	2.50	3.13	3.75	4.38	5.00
C _{2a} (abone sayacı/kontrol sayacı binada ise) (litre/servis bağlantı uzunluğu (m) / saat)	1.750	2.625	3.500	4.375	5.250	6.125	7.000
C _{2b} (abone sayacı/kontrol sayacı binada ise) (litre/servis bağlantı uzunluğu (km) / saat)	(0.5*1000*L _{px} /15)						

(b)

I. Durum Sayaç Kaldırılma

○ C2 (abone sayacı / kontrol sayacı parsel sınırında ise)

II. Durum Sayaç Binada

● C2 (abone sayacı / kontrol sayacı binada ise)

(c)

Pcf Hesabı: Yöntem 1
(IWA)

$$Pcf = 0.028 * P - 0.347$$

● Pcf Hesabı: Yöntem 1 (IWA)

Pcf Hesabı: Yöntem 2
(IWA Report 26)

$$Pcf = \left(\frac{0.5 * P + 0.0042 * P^2}{35.5} \right)$$

○ Pcf Hesabı: Yöntem 2 (IWA Report 26)

Pcf Hesabı: Yöntem 3
(IWA N1=1.5)

$$Pcf = \left(\frac{P}{50} \right)^{1.5}$$

○ Pcf Hesabı: Yöntem 3 (IWA N1=1.5)

(d)

İnsan Gece Tüketimi Hesabı Veri Girişi

Standart Değer Alınsın
 Manuel Değer Girisin

Konut Abone sayısı (biliniyorsa) başına tüketim (Nkonut)

Yaşayan kişi sayısı (biliniyorsa) başına tüketim (Nf)

Ticari Abone sayısı (biliniyorsa) başına tüketim (Ntic)

Şekil 3. MNF hesaplama aracında katsayıların seçilmesi a) ICF, C₁ ve C₂ katsayılarının seçilmesi b) Sayaç yerleşiminin seçimi c) Basınç düzeltme katsayısı için yöntem seçimi d) İnsan gece tüketimi için katsayı belirleme (Lambert, 2002; Farley, 2001; Morrison vd., 2007; Babić vd., 2014; Lambert vd., 2014)

3.3. Altyapı kaçak indeksi (ili) hesaplama aracı

Performans kıyaslamada en önemli husus, kıyaslanabilir ve doğru göstergenin belirlenmesidir. Özellikle İdarelerin veya bölgelerin birbiri ile kıyaslanmasında doğru göstergenin seçilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan en temel gösterge Lambert (1994) tarafından önerilen “alt yapı kaçak indeksi (ILI)” gösterilebilir. Bu gösterge bir dağıtım sisteminde veya izole bölgede yıllık fiziki kayıp hacminin (CARL), yıllık kaçınılmayan fiziki kayıp (UARL) hacmine oranı şeklinde denklem (1) ile hesaplanmaktadır (Lambert, 1994; Lambert vd., 1999). Bu göstergenin hesaplanmasında temel zorluklar şu şekilde verilebilir; (i) CARL değerinin su dengesine göre hesaplanmasında yaşanan

sorunlar (tahmini verilerin kullanılması), (ii) UARL hesabında, şebeke bilgileri ve işletme basıncı hakkında yeterli bilginin olmaması. ILI göstergesinin doğru hesaplanması ve en önemlisi çıkan sonucun doğru bir şekilde yorumlanması oldukça önemlidir. Bu gösterge özellikle sızıntıların yönetilmesinde uygulanacak yöntemlerin belirlenmesi açısından referans oluşturacak bilgiler sunmaktadır. UARL, bir dağıtım sisteminde teknik olarak sızıntının en düşük seviyesini göstermek olup Lambert vd. (1999) tarafından önerilen denklem (2) kullanılmaktadır.

$$ILI = CARL / UARL \quad (1)$$

$$UARL = (18 * L_m + 0.8 * N_c + 25 * L_p) * P \quad (2)$$

P; bölge ortalama basıncı (m), Lm; şebeke uzunluğu (km), Nc; servis bağlantı sayısı ve Lp; özel mülkteki boru uzunluğudur (km). Bölgede su tüketim karakteristiğine bağlı olarak basınçtaki değişimleri dikkate alınması gerekir. Bu nedenle UARL hesabında bölgede ortalama basıncın elde edileceği noktada günlük düzenli basınç ölçümü yapılması ve buna göre ortalama basıncın hesaplanması gerekir. Bu çalışmada, ILI ve UARL

parametrelerinin sistematik bir şekilde hesaplanması, çıkan sonuçların yorumlanması, literatürde önerilen sınır değerlerle kıyaslanması ve böylelikle sistemin performansının değerlendirilmesi için “altyapı kaçak indeksi hesaplama aracı” geliştirilmiştir (Şekil 4). Bu hesaplama aracı, su dengesi ve minimum gece debisi hesaplama araçları ile bütünleşik çalışmakta, analiz için gerekli veriler otomatik çekilmektedir.

Form Tipi	Değişken Adı	(a)	Değer / (Yüzdellik)	Birim
ILI Analiz	Toplam Hizmet Edilen Nüfus	Bilgi Al	0 kişi	kişi
ILI Analiz	Hizmet Edilen Ticari Abone Sayısı		0 adet	adet
ILI Analiz	Hizmet Edilen Konut Abone Sayısı		3159 adet	adet
ILI Analiz	Toplam Abone Sayısı (otomatik hesaplanmakta)		3159 adet	adet
ILI Analiz	Şebeke Anahat Uzunluğu (Lm)		8.7 km	km
ILI Analiz	Servis Bağlantılarının Toplam Uzunluğu (Lp)		4.18 km	km
ILI Analiz	Toplam Servis Bağlantı Sayısı (Nc)		522 adet	adet
ILI Analiz	Ortalama Servis Bağlantı Uzunluğu (Lpx)	Bilgi Al	8.01 m	m
ILI Analiz	Şebeke Ortalama Yaşı		20 yıl	yıl
ILI Analiz	Bağlantı Yoğunluğu (Nc / Lm) (Otomatik Hesaplanmakta)		60.00 sayı/km	sayı/km
ILI Analiz	Ortalama Sistem Basıncı (P)		51 m	m

Gösterge	Değer	(b)	Birim	Veri Baz Alma Yeri
Gelir Getirmeyen Su Oranı	47.99		%	Veri Giriş -> Su Dengesi Değerleri
Toplam Su Kaybı Oranı	47.99		%	Veri Giriş -> Su Dengesi Değerleri
İdari Kayıp Oranı	2.48		%	Veri Giriş -> Su Dengesi Değerleri
Fiziki Kayıp Oranı	45.51		%	Veri Giriş -> Su Dengesi Değerleri
Şebeke Anahat Uzunluğu (Lm)	8.70		km	Veri Giriş -> ILI Analiz Değerleri
Servis Bağlantılarının Toplam Uzunluğu (Lp)	4.18		km	Veri Giriş -> ILI Analiz Değerleri
Toplam Servis Bağlantı Sayısı (Nc)	522.00		adet	Veri Giriş -> ILI Analiz Değerleri
Ortalama Servis Bağlantı uzunluğu	8.01		m	Veri Giriş -> ILI Analiz Değerleri
Ortalama Sistem Basıncı (P)	51.00		m	Veri Giriş -> ILI Analiz Değerleri
Fiziki Kayıp Hacmi	1016265.55		Litre/gün	Veri Giriş -> Su Dengesi Değerleri
Yıllık Kaçınılmayan Fiziki Kayıp Hacmi (UARL)	34.613.70		Litre/gün	Veri Giriş -> Su Dengesi Değerleri
ILI	29.36			Veri Giriş -> Su Dengesi Değerleri

Op27-Op28 Standardı Hakkında	Op27 Standardına Uygundur.	Veri Giriş -> ILI Analiz Değerleri
Fiziki kayıp (IWA Op27) :	1,946.87	Litre / Servis Bağlantı Sayısı / Gün
UARL (IWA Op27) :	66.31	Litre / Servis Bağlantı Sayısı / Gün
Fiziki kayıp (IWA Op28) :	116,812.13	Litre / Şebeke uzunluğu(Km) / Gün
UARL (IWA Op28) :	3,978.59	Litre / Şebeke uzunluğu(Km) / Gün

ILI Değerlendirme				
Bulduğunuz Ülkenin Durumuyla İlgili Seçiminizi Yapınız (c)				
<input type="radio"/> Gelişmiş Ülke	<input checked="" type="radio"/> Gelişmekte Olan Ülke			
Gelişmekte Olan Ülkeler	Gelişmiş Ülkeler	Sınıf	ILI Hesap	ILI Göstergesinin Sınıf Tanımı
ILI Sınır Değer	ILI Sınır Değer			
ILI < 4	ILI < 2	A		Daha ileri kayıp azaltımı eksiklikler yok ise ekonomik olmayabilir; uygun maliyetli ilerlemenin belirlenmesi için dikkatli analiz gerekmektedir.
4 < ILI < 8	2 < ILI < 4	B		İşaretili ilerlemeler için potansiyel; basınç yönetimini göz önünde bulundur, daha iyi aktif sızıntı kontrolü pratikleri, ve daha iyi şebeke bakımı gerekebilir.
8 < ILI < 16	4 < ILI < 8	C		Zayıf sızıntı kaydı; yalnızca su bül ve ucuz ise tolerans gösterilebilir, öyle olsa bile, sızıntının doğasının ve seviyesinin analizi, sızıntı azaltım çalışmalarının yoğunlaştırılması.
ILI > 16	ILI > 8	D		Kaynakların çok verimsiz kullanımı; sızıntı azaltım programları zorunlu ve yüksek öncelikli.

Şekil 4. Altyapı kaçak indeksi hesaplama aracı a) Veri giriş ekranı b) Analiz ekranı c) Sonuç değerlendirme ekranı

Çalışma kapsamında 5 pilot veri seti için analiz yapılmış ve sonuçlar test edilmiştir (Tablo 1). Tabloda, MNF hesap, hesaplama yoluyla belirlenen gece yasal tüketimleri ve belirsiz sızıntıları içermektedir. MNF ölçüm, izole bölgelerde MNF saatinde giriş debimetresinde ölçülen debiyi temsil etmektedir. MNF ölçüm ve

MNF hesap parametrelerinin farkı, bölgede potansiyel olarak önlenabilir sızıntı değerini vermektedir. Gelir Getirmeyen Su (GGS) oranı, izole bölgede, sistem giriş hacmi ile yasal tüketimlerin farkı olan gelir getirmeyen su hacminin sistem giriş hacmine şeklinde ifade edilmektedir.

Tablo 1. Pilot izole bölgeler için karakteristik bilgiler

Bölge	Lm (km)	Nc	Lp (km)	(P) (m)	Na	MNF Ölçüm (l/s)	MNF Hesap (l/s)	Sızıntı (l/s)	GGS (%)	ILI ---
DMA1	8.7	522	4.18	51	3159	20.08	2.9	17.14	48.0	29.3
DMA2	5.65	500	4.08	38	3207	20.80	2.3	18.50	47.5	41.2
DMA3	4.78	1046	2.52	45	1184	6.41	1.7	4.74	52.7	9.07
DMA4	3.68	384	3.07	45	2167	6.31	1.73	4.58	26.9	11.5
DMA5	7.43	537	4.3	50	779	9.9	1.46	8.44	73.6	29.7

Burada, Nc: servis bağlantı sayısı, Lm: şebeke ana hat uzunluğu (km), Lp: servis bağlantı uzunluğu (km), P: bölge ortalama basıncı (m), Na: abone sayısı şeklinde ifade edilir. Bu hesaplama aracında kullanıcı bölgedeki sayaç hata oranını girdikten sonra, IWA tarafından tanımlanan standartta sayaçlardaki kayıp hacmini otomatik hesaplanmaktadır. Bu hesaplama aracının, İdarelerde su kayıp analizi ve bütçesinin oluşturulmasında önemli katkılar sunacağı, daha hassas analiz imkanı sunacağı ve en önemlisi doğru ve güvenilir hesaplama sağlayacağı düşünülmektedir. Tabloda verilen sonuçlar değerlendirildiğinde, GGS oranları özellikle eski şebeke koşullarının olduğu bölgeler için oldukça yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Diğer taraftan nispeten daha iyi şebekeye sahip olan Bölge-4 için bu oranının kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı söylenebilir. Bilindiği üzere Bakanlık tarafından yayınlanan yönetimde kayıp oranının %25 seviyesine indirilmesi gerekmektedir. Uluslararası literatürde GGS oranlarının %10 civarında olması, şebekenin oldukça iyi durumda olduğu şeklinde değerlendirilmektedir. Su dengesinin hesaplanması, İdareler ve Belediyeler için önleme stratejilerinin geliştirilmesi için referans oluşturma potansiyeli bulunmaktadır. Tablo 1’de verilen sonuçlara göre, ILI değerinin küçük olması sistemin iyi seviyede olduğunu göstermektedir. Şekil 3’te verilen değerlendirme tablosuna göre sistemin yer aldığı sınıf belirlenmekte ve buna göre iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır. ILI değerinin hesaplanması, İdareler için önleme stratejilerinin geliştirilmesi ve yöntemlerin aktif şekilde uygulanması noktası referans oluşturma potansiyeli bulunmaktadır. Bu hesaplama aracının sağladığı avantajlar (Lambert vd., 1999; Lambert 2002; Liemberger vd., 2007); (i) herhangi bir

işletme basıncı için UARL hesabının yapılması, (ii) ILI göstergesinin hassas bir şekilde hesaplanması, UARL ile kıyaslanması, (iii) UARL ve ILI değerlerinin literatürde önerilen gösterge kodlarına göre hesaplanması ve kıyaslanması, (iv) ILI gösterge sonucunun IWA tarafından önerilen değerlendirme tablosuna göre kıyaslanması ve İdare için referans oluşturacak bilginin üretilmesi şeklinde verilebilir. Sonuç olarak, bu hesaplama araçlarının, İdarelerde, sızıntıların yönetilmesinde, su kayıp yönetim performanslarının izlenmesinde, sistem verimliliğinin sağlanmasında, sızıntı hesaplarının daha sistematik ve hassas bir şekilde yapılmasında, su kayıp yönetimi hesaplamalarının uluslararası standartlara göre yapılmasında önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir. ILI göstergesi sızıntı yönetiminde kullanılan en temel gösterge olarak ifade edilmektedir.

4. Tartışma ve sonuçlar

Bu çalışmada, su kayıp yönetiminin sistematik, planlı ve sürdürülebilir bir şekilde yapılmasına esas teşkil eden temel su kayıp analizleri için hassas ve doğru analiz imkanı sunan hesaplama araçları geliştirilmiş ve 5 farklı pilot veri setleri için test edilmiştir. Bunun için web tabanlı çalışan, birbiri ile bütünleşik olan “su dengesi”, “minimum gece debisi” ve “ILI” hesaplama araçları geliştirilmiş ve pilot veri seti için uygulama gerçekleştirilmiştir. Bunun için, Su İdarelerinin daha kolay ve hassas analiz yapmasına imkan tanıyan ve izole bölge veya sistem performansını izleme imkanı sunan web tabanlı “Su Dengesi Hesaplama Aracı” geliştirilmiştir. Su dengesi hesaplama aracı, Bakanlığın Su İdarelerinden ve Belediyelerden yıllık olarak talep ettiği hesap detayları ve raporlamaları ve su dengesinin analizinde literatürde önerilen analiz detaylarını dikkate

almakta ve kullanıcı için hassas ve doğru analiz imkanı sunmaktadır. Benzer şekilde MNF analizinin gerçekleştirilmesi, gece yasal tüketimlerin ve belirsiz sızıntıların doğru bir şekilde hesaplanması, katsayıların doğru bir şekilde seçilmesi ve en önemlisi kullanıcıların için hassas ve doğru analiz gerçekleştirilmesi için “minimum gece debisi hesaplama aracı” geliştirilmiştir. Bu hesaplama aracı İdarelerde, sızıntıların yönetilmesinde, sistem verimliliğinin sağlanmasında ve sızıntı hesaplarının daha sistematik ve hassas bir şekilde yapılmasında önemli katkılar sunmaktadır. Son olarak, ILI ve UARL parametrelerinin sistematik bir şekilde hesaplanması, çıkan sonuçların yorumlanması, literatürde önerilen sınır değerlerle kıyaslanması ve böylelikle sistemin performansının değerlendirilmesi için “altyapı kaçak indeksi hesaplama aracı” geliştirilmiştir. Bu hesaplama aracı ile İdarenin sızıntı yönetimindeki performansının izlenmesi ve buna göre en uygun yöntemin belirlenmesi mümkün olmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, (İÜ-BAP FOA-2018-626) tarafından desteklenmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı İÜ-BAP birimine teşekkür eder.

Kaynaklar

- AWWA (American Water Works Association). (2014). Free Water Audit Software, version 5.0. <https://www.awwa.org/Resources-Tools/Resource-Topics/Water-Loss-Control>
- Babić, B., Dukić, A. and Stanić, M. (2014). Managing water pressure for water savings in developing countries. *Water SA*, 40(2), 221-232. <https://doi.org/10.4314/wsa.v40i2.4>
- Cheung, P. B., Girol, G. V., Abe, N. and Propato, M. (2010). Night flow analysis and modeling for leakage estimation in a water distribution system. In *Integrating Water Systems - Proceedings of the 10th International on Computing and Control for the Water Industry, CCWI 2009*.
- Choi, T., Hong, M., Kim, J. and Koo, J. (2015). Efficient minimum night flow analysis using Bayesian inference. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 64(1), 10-18. <https://doi.org/10.2166/aqua.2014.166>
- Creaco, E., Campisano, A., Fontana, N., Marini, G., Page, P. R. and Walski, T. (2019). Real time control of water distribution networks: a state-of-the-art review. *Water Research*, 161, 517–530.
- Eggimann, S., Mutzner, L., Wani, O., Schneider, M. Y., Spuhler, D., Moy De Vitry, M. and Maurer, M. (2017). The potential of knowing more: a review of data-driven urban water management. *Environmental Science and Technology*, 51(5), 2538-2553. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04267>
- Eugene, M. (2017). Predictive leakage estimation using the cumulative minimum night flow approach. *American Journal of Water Resources*, 5(1), 1-4. <https://doi.org/10.12691/AJWR-5-1-1>
- Fallis, P., Hübschen, K., Oertlé, E., Ziegler, D., Klingel, P., Knobloch, A. and Christine Laures. (2011). *Guidelines for water loss reduction*, 236.
- Fantozzi, M., Calza, F. and Lambert, a. (2009). Experience and results achieved in introducing district metered areas (dma) and pressure management areas (PMA) at Enia Utility (Italy). *Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference*.
- Farah, E. and Shahrour, I. (2017). Leakage detection using smart water system: combination of water balance and automated minimum night flow. *Water Resources Management*, 31, 4821-4833. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1780-9>
- Farley, M. and Liemberger, R. (2005). Developing a non-revenue water reduction strategy: planning and implementing the strategy. *Water Science and Technology: Water Supply*, 15(1), 41–50.
- Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z. B. M., Istandar, A. and Singh, S. (2008). *The Manager's Non-Revenue Water Handbook. A Guide to Understanding Water Losses*.
- Farley, Malcolm. (2001). *Leakage Management and Control: A Best Practice Training Manual*. WHO.
- Fontana, N., Giugni, M., Glielmo, L., Marini, G. and Zollo, R. (2018). Real-time control of pressure for leakage reduction in water distribution network: field experiments. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000887](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000887)
- García, V. J. and Cabrera, E. (2007). The minimum night flow method revisited. In *8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006*. [https://doi.org/10.1061/40941\(247\)35](https://doi.org/10.1061/40941(247)35)
- Gupta, A. and Kulat, K. D. (2018). A selective literature review on leak management techniques for water distribution system. *Water Resources Management*, 32(10), 3247–3269. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1985-6>

- Hamilton, S., Mckenzie, R. and Seago, C. (2006). A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *Voda i Sanitarna Tehnika*, 36(6), 15–24.
- Jadhao, R. D., and Gupta, R. (2018). Calibration of water distribution network of the Ramnagar zone in Nagpur City using online pressure and flow data. *Applied Water Science*, 8, 29. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0672-3>
- Kleiner, Y., Adams, B. J. and Rogers, J. S. (2001). Water distribution network renewal planning. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 15(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2001\)15:1\(15\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2001)15:1(15))
- Lambert, A., Charalambous, B., Fantozzi, M., Kovac, J., Rizzo, A. and Galea St. John, S. (2014). 14 years experience of using iwa best practice water balance and water loss performance indicators in Europe. *Proceedings of the WaterLoss Conference 2014*.
- Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M. and Weimer, D. (1999). A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 48(6), 227–237. <https://doi.org/10.2166/aqua.1999.0025>
- Liemberger, R., Brothers, K., Lambert, A., Mckenzie, R., Rizzo, A. and Waldron, T. (2007). Water loss performance indicators. *Water* 21, (September), 148–160.
- Liemberger, Roland. and Farley, M. (2004). developing a non-revenue water reduction strategy part 1 : investigating and assessing water losses. *Proc IWA 4th World Water Congress and Exhibition 1924 September 2004 Marrakech Morocco*, 1–10.
- Lipiwattanakarn, S., Kaewsang, S., Pornprommin, A. and Wongwiset, T. (2019). Real benefits of leak repair and increasing the number of inlets to energy. *Water Science&Technology*., 14:3, 714–725.
- Mann, E. and Frey, J. (2011). Optimized pipe renewal programs ensure cost-effective asset management. In *Pipelines 2011: A Sound Conduit for Sharing Solutions - Proceedings of the Pipelines 2011 Conference*. [https://doi.org/10.1061/41187\(420\)5](https://doi.org/10.1061/41187(420)5)
- McKenzie, R., Seago, C. and Liemberger, R. (2008). Benchmarking of losses from potable water reticulation systems - results from IWA task team. In *Proceedings of Water Loss 2008 New Zealand*.
- Moglia, M., Burn, S. and Meddings, S. (2006). Decision support system for water pipeline renewal prioritisation. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, (11), 237-256.
- Mutikanga, H. E., Sharma, S. and Vairavamoorthy, K. (2009). Water loss management in developing countries: challenges and prospects. *Journal/American Water Works Association*, 101(12), 57-68. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2009.tb10010.x>
- Mutikanga, H. M., Sharma, S. K. and Vairavamoorthy, K. (2013). Methods and tools for managing losses in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(2), 166–174.
- Nafi, A., Werey, C. and Llerena, P. (2008). Water pipe renewal using a multiobjective optimization approach. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35(1), 87-94. <https://doi.org/10.1139/L07-075>
- Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D. a. and Koppel, T. (2010). A review of methods for leakage management in pipe networks. *Urban Water Journal*, 7(1), 25–45. <https://doi.org/10.1080/15730621003610878>
- Roshani, E. and Fillion, Y. (2014). WDS leakage management through pressure control and pipes rehabilitation using an optimization approach. *Procedia Engineering*, 89, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.155>
- Zyoud, S. H., Kaufmann, L. G., Shaheen, H., Samhan, S. and Fuchs-Hanusch, D. (2016). A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 61, 86–105. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.05.016>

The eigenvalues of circulant matrices with generalized tetranacci numbers

Genelleştirilmiş tetranacci sayıları ile tanımlı circulant matrislerin özdeğerleri

Fatma YEŞİL BARAN^{*1,a}

¹Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 05100, Amasya

• Geliş tarihi / Received: 24.11.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 15.02.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 28.02.2021

Abstract

Let the sequence $(\mathcal{T}_n)_{n \in \mathbb{N}}$ be the generalized tetranacci sequence. Define the $n \times n$ circulant matrix $C(\mathcal{T})$ by

$c_{ij} = \begin{cases} \mathcal{T}_{j-i} & , j \geq i \\ \mathcal{T}_{n+j-i} & , j < i \end{cases}$ for $i, j = 1, 2, \dots, n$. In this paper, the eigenvalue of $C(\mathcal{T})$ is studied. By using this value, the determinant value of this matrix is delivered.

Keywords: Determinant, Eigenvalue, Tetranacci numbers

Öz

$(\mathcal{T}_n)_{n \in \mathbb{N}}$ genelleştirilmiş tetranacci dizisi ve $C(\mathcal{T})$, $n \times n$ tipinde $i, j = 1, 2, \dots, n$ için

$$c_{ij} = \begin{cases} \mathcal{T}_{j-i} & , j \geq i \\ \mathcal{T}_{n+j-i} & , j < i \end{cases}$$

biçimde tanımlı circulant matris olsun. Bu çalışmada, $C(\mathcal{T})$ 'nin özdeğerleri çalışılmıştır. Bu değer kullanılarak, circulant matrisin determinant değeri hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Determinant, Özdeğer, Tetranacci sayıları

*^a Fatma YEŞİL BARAN; ftm1618ysl@gmail.com, Tel: (0553)533 65 85, orcid.org/ 0000-0001-8613-2706

1. Introduction

The calculation of the eigenvalues and eigenvectors of a system is high-level subject in mathematics and engineering, where it is mentioned in such many applications as analysis and small oscillations of vibrating systems. Also eigenvalues are often introduced in the context of matrix theory. Developments of eigenvalues were initiated by Cauchy in (Cauchy, 1829). He proved that the eigenvalues of a symmetric matrix are real. This was extended by Hermite in (Hermite, 1855) to what are now called Hermitian matrices. After these progresses, many mathematicians worked in these problems for improving theory of eigenvalue.

An n -step Fibonacci sequence $(F_k^{(n)})_{k=1}^{\infty}$ is defined by letting $F_k^{(n)} = 0$ for $k \leq 0$, $F_1^{(n)} = F_2^{(n)} = 1$, and other terms according to the following linear recurrence relation $F_k^{(n)} = \sum_{i=1}^n F_{k-i}^{(n)}$ for $k > 2$. Tetranacci numbers are the $n = 4$ case of the Fibonacci n -step numbers. Firstly the tetranacci numbers which also called Quadrannacci were described in (Feinberg, 1963). Waddill generalized the tetranacci series in his work in (Waddill, 1992). Then, some new properties and results for tetranacci numbers were obtained in (Kirkpatrick, 1977; Spickerman, 1982; Spickerman and Joyner, 1984; Zaveri and Patel, 2015).

There is no hesitation that circulant and r -circulant matrices have a wide range of applications in some differential equations, communication linear forecast, coding theory and so on. The r -circulant matrix $C_r = [d_{ij}]$, which is $j - i \equiv k \pmod{n}$, is defined as form

$$d_{ij} = \begin{cases} d_{j-i} & , j \geq i \\ r \cdot d_{n+j-i} & , j < i \end{cases} \text{ for } i, j = 1, 2, \dots, n.$$

Particularly, for $r = 1$, The matrix $C = [c_{ij}]$ of type $n \times n$, is called the circulant matrix and generic element is shown as

2. Preliminaries

Firstly, because of that results of this study, we need to introduce some concepts which include special sequences.

Tetranacci sequence which is shown $(M_n)_{n \in \mathbb{N}}$ is defined by the recurrence relation

$$M_n = M_{n-1} + M_{n-2} + M_{n-3} + M_{n-4} \quad (n \geq 4) \tag{1}$$

where initial conditions for $M_0 = M_1 = 0$, $M_2 = M_3 = 1$. The elements of this sequence are called Tetranacci numbers (Waddill, 1992). Binet formula for this sequence is

$$M_n = \frac{\alpha^n}{(\alpha-\beta)(\alpha-\gamma)(\alpha-\delta)} + \frac{\beta^n}{(\beta-\alpha)(\beta-\gamma)(\beta-\delta)} + \frac{\gamma^n}{(\gamma-\alpha)(\gamma-\beta)(\gamma-\delta)} + \frac{\delta^n}{(\delta-\alpha)(\delta-\beta)(\delta-\gamma)}$$

$$C_{ij} = \begin{cases} c_{j-i} & , j \geq i \\ c_{n+j-i} & , j < i \end{cases}$$

Circulant matrices via special numbers have widely applications in several studies for example Solak’s paper (Solak, 2005; Bahsi and Solak, 2014). For instance, Kocer et al. (Kocer et al, 2007) have studied the norms of circulant matrices which terms are Horadam numbers. In (Shen and Cen, 2010), Shen and Cen have obtained the bounds for the norms of r -circulant matrices Bahsi in (Bahşi, 2015) has computed norms of circulant matrices with the generalized Fibonacci and Lucas numbers. In (Tuglu and Kızılateş, 2015a; Kızılateş and Tuglu, 2016; Kızılateş and Tuglu, 2018), Tuglu and Kızılateş have given some matrix norms of circulant, r -circulant and geometric circulant matrices with the special Fibonacci numbers. Also, Bahşi calculated the matrix norms of circulant matrices with Tribonacci sequence (Bahşi, 2015). Then, Özkoç and Ardiyok calculated the spectral and Euclidean norms of the circulant and negacyclic matrices via tetranacci sequence (Özkoç and Ardiyok, 2016). Taşçı and Acar studied Gaussian tetranacci numbers with their initial values being Gaussian integer (Tascı and Acar, 2017). Yesil Baran et al. calculated some matrix norms for the circulant matrices consisting of elements of the generalized tetranacci number sequence (Yesil Baran and Yetiş, 2019). Also Tuglu et al. obtained the norms of some special matrices with Fibonacci numbers (Tuglu and Kızılateş, 2015b). In addition to this, Kızılateş et al. showed that some properties of Harmonic Fibonacci numbers and Quadra Lucas-Jacobsthal numbers (Kızılateş, 2017; Tuglu et al., 2015).

In the light of these informations, the target of this study is to present eigen values and determinants of circulant matrix which terms are generalized tetranacci sequence with the help of fourth recurrence relation. Now, we give some preliminaries about concept of circulant matrix and tetranacci sequence.

(Zaveri and Patel, 2015). Here $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ are the roots of the characteristic equation of (1). The sequence $(\mathcal{T}_n)_{n \in \mathbb{N}}$ is defined as the generalized tetranacci sequence with recurrence relation as

$$\mathcal{T}_n = p\mathcal{T}_{n-1} + q\mathcal{T}_{n-2} + r\mathcal{T}_{n-3} + s\mathcal{T}_{n-4} \quad (n \geq 4) \tag{2}$$

where initial conditions for $\mathcal{T}_0 = a, \mathcal{T}_1 = b, \mathcal{T}_2 = c, \mathcal{T}_3 = d$ and $1 - p - q - r - s \neq 0$ (Yesil Baran and Yetis,2019). Let α, β, γ and δ are the roots of characteristic equation of (2) . Binet formula for $(\mathcal{T}_n)_{n \in \mathbb{N}}$ is obtained as

$$\mathcal{T}_n = \frac{A\alpha^n}{(\alpha-\beta)(\alpha-\gamma)(\alpha-\delta)} + \frac{B\beta^n}{(\beta-\alpha)(\beta-\gamma)(\beta-\delta)} + \frac{C\gamma^n}{(\gamma-\alpha)(\gamma-\beta)(\gamma-\delta)} + \frac{D\delta^n}{(\delta-\alpha)(\delta-\beta)(\delta-\gamma)} \tag{3}$$

where

$$\begin{aligned} D &= d - cp - bq - ar \\ C &= (\gamma - \delta)[c - bp - aq] + D \\ B &= (b - ap)[(\gamma - \beta)(\delta - \beta)] - \frac{c(\beta - \delta) + D(\gamma - \beta)}{(\gamma - \delta)} \\ A &= \frac{a(\alpha - \beta)(\alpha - \gamma)(\alpha - \delta)(\beta - \gamma)(\beta - \delta) + B(\alpha - \gamma)(\alpha - \delta)}{(\beta - \gamma)(\beta - \delta)} + \frac{-c(\alpha - \beta)(\alpha - \delta)(\beta - \delta) + D(\alpha - \beta)(\alpha - \gamma)(\beta - \gamma)}{(\beta - \gamma)(\beta - \delta)(\gamma - \delta)}. \end{aligned}$$

Vieta’s formula is about to the coefficients of a polynomial to sums and products of its roots. For $a \neq 0$, Vieta’s formula for the quartic

$$ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e = 0 = (x - x_1)(x - x_2)(x - x_3)(x - x_4)$$

gives in four variables as

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 &= \frac{-b}{a} \\ x_1x_2 + x_1x_3 + x_1x_4 + x_2x_3 + x_2x_4 + x_3x_4 &= \frac{c}{a} \\ x_1x_2x_3 + x_1x_2x_4 + x_1x_3x_4 + x_2x_3x_4 &= \frac{-d}{a} \\ x_1x_2x_3x_4 &= \frac{e}{a}. \end{aligned}$$

Lemma 2.1. Let $\mathcal{A} = C(a_0, a_1, \dots, a_{n-1})$ be an $n \times n$ circulant matrix. Then we have

$$\lambda_j(\mathcal{A}) = \sum_{k=0}^{n-1} a_k w^{-jk}$$

where $w = e^{\frac{2\pi i}{n}}, i = \sqrt{-1}, j = 0, 1, \dots, n - 1$ (Davis,1979).

Lemma 2.2. Let the $w = e^{\frac{2\pi i}{n}}$ satisfy the $n - th$ primitive root of unity, where $i = \sqrt{-1}$ and $a, b, c, d, g \in \mathbb{C}$, following equation holds

$$\begin{aligned} \prod_{k=1}^n (a - bw^{-k} + cw^{-2k} - dw^{-3k}) &= a^n - d^n + (2^{-n} - 2^{1-2n})b^n + 2^{1-n} \left(\frac{c-2ad}{b}\right)^n + 2^n \left(\frac{ad}{b}\right)^n \\ \prod_{k=1}^n (a - bw^{-k} + cw^{-2k} - dw^{-3k} + gw^{-4k}) &= a^n + g^n + 2^{2-2n}(b^n + d^n) + 2^{1-3n} \left(\frac{4ac+b}{a}\right)^n + \\ &\quad + 2^{2-4n} \left(\frac{b}{a}\right)^n. \end{aligned}$$

Proof: The proof of lemma 2.2. was shown in (Davis,1979).

3. Main section

In this section, we formulate eigenvalues and determinants of circulant matrix with fourth recurrence relation. Firstly the $n \times n$ circulant matrix which terms are generalized tetranacci numbers is defined by

$$C(\mathcal{T}) = \begin{bmatrix} \mathcal{T}_0 & \mathcal{T}_1 & \mathcal{T}_2 & \cdots & \mathcal{T}_{n-1} \\ \mathcal{T}_{n-1} & \mathcal{T}_0 & \mathcal{T}_1 & \cdots & \mathcal{T}_{n-2} \\ \mathcal{T}_{n-2} & \mathcal{T}_{n-1} & \mathcal{T}_0 & \cdots & \mathcal{T}_{n-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathcal{T}_1 & \mathcal{T}_2 & \mathcal{T}_3 & \cdots & \mathcal{T}_0 \end{bmatrix}.$$

The following theorem gives us to the eigenvalues of $C(\mathcal{T})$.

Theorem 3.1. Let $C(\mathcal{T})$ be circulant matrix. The eigenvalues of matrix A are

$$\lambda_j(C(\mathcal{T})) = \frac{\left[\begin{array}{l} -s \left\{ \mathcal{T}_{n-1} + \frac{1}{\alpha}A^* + \frac{1}{\beta}B^* + \frac{1}{\gamma}C^* + \frac{1}{\delta}D^* \right\} w^{-3j} + \{-q\mathcal{T}_n + p\mathcal{T}_{n+1} - \mathcal{T}_{n+2} + L\} w^{-2j} \\ + \{p\mathcal{T}_n - \mathcal{T}_{n+1} - [(p-\alpha)A^* + (p-\beta)B^* + (p-\gamma)C^* + (p-\delta)D^*]\} w^{-j} + \mathcal{T}_n - \{A^* + B^* + C^* + D^*\} \end{array} \right]}{-sw^{-4j} - rw^{-3j} - qw^{-2j} + pw^{-j} + 1}$$

where

$$L = A^*(\beta\gamma + \beta\delta + \gamma\delta) + B^*(\alpha\gamma + \alpha\delta + \gamma\delta) + C^*(\alpha\beta + \alpha\delta + \beta\delta) + D^*(\alpha\beta + \alpha\gamma + \beta\gamma).$$

and

$$A^* = \frac{A}{(\alpha-\beta)(\alpha-\gamma)(\alpha-\delta)}, B^* = \frac{B}{(\beta-\alpha)(\beta-\gamma)(\beta-\delta)}, C^* = \frac{C}{(\gamma-\alpha)(\gamma-\beta)(\gamma-\delta)}, D^* = \frac{D}{(\delta-\alpha)(\delta-\beta)(\delta-\gamma)}.$$

Proof: From Lemma 2.1. and (3), we have

$$\begin{aligned} \lambda_j(C(\mathcal{T})) &= \sum_{k=0}^{n-1} \mathcal{T}_k w^{-jk} \\ &= \sum_{k=0}^{n-1} (A^* \alpha^k + B^* \beta^k + C^* \gamma^k + D^* \delta^k) w^{-jk} \\ &= A^* \frac{(\alpha w^{-j})^n - 1}{\alpha w^{-j} - 1} + B^* \frac{(\beta w^{-j})^n - 1}{\beta w^{-j} - 1} + C^* \frac{(\gamma w^{-j})^n - 1}{\gamma w^{-j} - 1} + D^* \frac{(\delta w^{-j})^n - 1}{\delta w^{-j} - 1}. \end{aligned}$$

For the $(\alpha w^{-j})^n = \alpha^n$, $(\beta w^{-j})^n = \beta^n$, $(\gamma w^{-j})^n = \gamma^n$, $(\delta w^{-j})^n = \delta^n$, the RHS of equation equals to

$$\lambda_j(C(\mathcal{T})) = \frac{A^*(\alpha^n-1)(\beta w^{-j}-1)(\gamma w^{-j}-1)(\delta w^{-j}-1) + B^*(\beta^n-1)(\alpha w^{-j}-1)(\gamma w^{-j}-1)(\delta w^{-j}-1) + C^*(\gamma^n-1)(\alpha w^{-j}-1)(\beta w^{-j}-1)(\delta w^{-j}-1) + D^*(\delta^n-1)(\alpha w^{-j}-1)(\beta w^{-j}-1)(\gamma w^{-j}-1)}{(\alpha w^{-j}-1)(\beta w^{-j}-1)(\gamma w^{-j}-1)(\delta w^{-j}-1)}.$$

After regulations of numerator, we obtain

$$\begin{aligned} &\left\{ \begin{array}{l} \alpha\beta\gamma\delta\{A^*\alpha^{n-1} + B^*\beta^{n-1} + C^*\gamma^{n-1} + D^*\delta^{n-1}\} \\ -\{A^*\beta\gamma\delta + B^*\alpha\gamma\delta + C^*\alpha\beta\delta + D^*\alpha\beta\gamma\} \end{array} \right\} w^{-3j} \\ &+ \left\{ \begin{array}{l} A^*\alpha^n(\beta\gamma + \beta\delta + \gamma\delta) + B^*\beta^n(\alpha\gamma + \alpha\delta + \gamma\delta) \\ + C^*\gamma^n(\alpha\beta + \alpha\delta + \beta\delta) + D^*\delta^n(\alpha\beta + \alpha\gamma + \beta\gamma) - L \end{array} \right\} w^{-2j} \\ &+ \left\{ \begin{array}{l} A^*\alpha^n(\beta + \gamma + \delta) + B^*\beta^n(\alpha + \gamma + \delta) + C^*\gamma^n(\alpha + \beta + \delta) \\ + D^*\delta^n(\alpha + \beta + \gamma) - A^*(\beta + \gamma + \delta) - B^*(\alpha + \gamma + \delta) - C^*(\alpha + \beta + \delta) - D^*(\alpha + \beta + \gamma) \end{array} \right\} w^{-j} \\ &+ A^*\alpha^n + B^*\beta^n + C^*\gamma^n + D^*\delta^n - (A^* + B^* + C^* + D^*). \end{aligned}$$

Using Vieta formulas and (3), if we replace

$$\alpha\beta\gamma\delta = -s,$$

$$\begin{aligned}
 A^* \alpha^{n-1} + B^* \beta^{n-1} + C^* \gamma^{n-1} + D^* \delta^{n-1} &= \mathcal{T}_{n-1}, \\
 \beta + \gamma + \delta &= p - \alpha, \\
 \alpha + \gamma + \delta &= p - \beta, \\
 \alpha + \beta + \delta &= p - \gamma, \\
 \alpha + \beta + \gamma &= p - \delta,
 \end{aligned}$$

then we get

$$\left[\begin{array}{l} -s \left\{ \mathcal{T}_{n-1} + \frac{1}{\alpha} A^* + \frac{1}{\beta} B^* + \frac{1}{\gamma} C^* + \frac{1}{\delta} D^* \right\} w^{-3j} + \{-q\mathcal{T}_n + p\mathcal{T}_{n+1} - \mathcal{T}_{n+2} + L\} w^{-2j} \\ + \{p\mathcal{T}_n - \mathcal{T}_{n+1} - [(p - \alpha)A^* + (p - \beta)B^* + (p - \gamma)C^* + (p - \delta)D^*]\} w^{-j} + \mathcal{T}_n - \{A^* + B^* + C^* + D^*\} \end{array} \right].$$

After regulations of denominator, we obtain

$$[\alpha\beta\gamma\delta w^{-4j} - (\alpha\beta\gamma + \alpha\beta\delta + \alpha\gamma\delta + \beta\gamma\delta)w^{-3j} + (\alpha\beta + \alpha\gamma + \alpha\delta + \beta\gamma + \beta\delta + \gamma\delta)w^{-2j} - (\alpha + \beta + \gamma + \delta)w^{-j} + 1].$$

Using Vieta formulas, if we change

$$\begin{aligned}
 \alpha\beta\gamma\delta &= -s, \quad \alpha\beta\gamma + \alpha\beta\delta + \alpha\gamma\delta + \beta\gamma\delta = r, \\
 \alpha\beta + \alpha\gamma + \alpha\delta + \beta\gamma + \beta\delta + \gamma\delta &= -q, \\
 \alpha + \beta + \gamma + \delta &= -p,
 \end{aligned}$$

we reach

$$[-sw^{-4j} - rw^{-3j} - qw^{-2j} - (\alpha + \beta + \gamma + \delta) + pw^{-j} + 1].$$

Finally we obtain the eigenvalues of matrix $C(\mathcal{T})$ are

$$\lambda_j(C(\mathcal{T})) = \frac{\left[\begin{array}{l} -s \left\{ \mathcal{T}_{n-1} + \frac{1}{\alpha} A^* + \frac{1}{\beta} B^* + \frac{1}{\gamma} C^* + \frac{1}{\delta} D^* \right\} w^{-3j} + \{-q\mathcal{T}_n + p\mathcal{T}_{n+1} - \mathcal{T}_{n+2} + L\} w^{-2j} \\ + \{p\mathcal{T}_n - \mathcal{T}_{n+1} - [(p - \alpha)A^* + (p - \beta)B^* + (p - \gamma)C^* + (p - \delta)D^*]\} w^{-j} + \mathcal{T}_n - \{A^* + B^* + C^* + D^*\} \end{array} \right]}{-sw^{-4j} - rw^{-3j} - qw^{-2j} + pw^{-j} + 1}$$

Theorem 3.2. Let $C(\mathcal{T})$ be circulant matrix. The determinant value of matrix $C(\mathcal{T})$ is

$$\det(A) = \frac{\left[\begin{array}{l} (\mathcal{T}_n - \{A^* + B^* + C^* + D^*\})^n + \left(-s \left\{ \mathcal{T}_{n-1} + \frac{1}{\alpha} A^* + \frac{1}{\beta} B^* + \frac{1}{\gamma} C^* + \frac{1}{\delta} D^* \right\} \right)^n \\ - (2^{-n} - 2^{1-2n}) \{p\mathcal{T}_n - \mathcal{T}_{n+1} - [(p - \alpha)A^* + (p - \beta)B^* + (p - \gamma)C^* + (p - \delta)D^*]\}^n \\ + 2^{1-n} \left(\{-q\mathcal{T}_n + p\mathcal{T}_{n+1} - \mathcal{T}_{n+2} + L\} - 2(\mathcal{T}_n - \{A^* + B^* + C^* + D^*\})s \left\{ \mathcal{T}_{n-1} + \frac{1}{\alpha} A^* + \frac{1}{\beta} B^* + \frac{1}{\gamma} C^* + \frac{1}{\delta} D^* \right\} \right)^n \\ + 2^n \left(\frac{\mathcal{T}_n - \{A^* + B^* + C^* + D^*\} s \left\{ \mathcal{T}_{n-1} + \frac{1}{\alpha} A^* + \frac{1}{\beta} B^* + \frac{1}{\gamma} C^* + \frac{1}{\delta} D^* \right\}}{-\{p\mathcal{T}_n - \mathcal{T}_{n+1} - [(p - \alpha)A^* + (p - \beta)B^* + (p - \gamma)C^* + (p - \delta)D^*]\}} \right)^n \end{array} \right]}{1 + (-s)^n + 2^{2-2n}((-p)^n + r^n) + 2^{1-3n}(-4q-p)^n + 2^{2-4n}(-p)^n}.$$

Proof: From Theorem 3.1., we have

$$\begin{aligned}
 \det(C(\mathcal{T})) &= \prod_{j=0}^{n-1} \lambda_j(C(\mathcal{T})) \\
 &= \frac{\left[\begin{array}{l} -s \left\{ \mathcal{T}_{n-1} + \frac{1}{\alpha} A^* + \frac{1}{\beta} B^* + \frac{1}{\gamma} C^* + \frac{1}{\delta} D^* \right\} w^{-3j} + \{-q\mathcal{T}_n + p\mathcal{T}_{n+1} - \mathcal{T}_{n+2} + L\} w^{-2j} \\ + \{p\mathcal{T}_n - \mathcal{T}_{n+1} - [(p - \alpha)A^* + (p - \beta)B^* + (p - \gamma)C^* + (p - \delta)D^*]\} w^{-j} + \mathcal{T}_n - \{A^* + B^* + C^* + D^*\} \end{array} \right]}{-sw^{-4j} - rw^{-3j} - qw^{-2j} + pw^{-j} + 1}.
 \end{aligned}$$

By considering Lemma 2.2., we obtain

$$\det(C(\mathcal{J})) = \frac{\left[\begin{aligned} &(\mathcal{J}_n - \{A^* + B^* + C^* + D^*\})^n + \left(-s\left\{\mathcal{J}_{n-1} + \frac{1}{\alpha}A^* + \frac{1}{\beta}B^* + \frac{1}{\gamma}C^* + \frac{1}{\delta}D^*\right\}\right)^n \\ &- (2^{-n} - 2^{1-2n})\{p\mathcal{J}_n - \mathcal{J}_{n+1} - [(p-\alpha)A^* + (p-\beta)B^* + (p-\gamma)C^* + (p-\delta)D^*]\}^n \\ &+ 2^{1-n}\left\{-q\mathcal{J}_n + p\mathcal{J}_{n+1} - \mathcal{J}_{n+2} + L - 2(\mathcal{J}_n - \{A^* + B^* + C^* + D^*\})s\left\{\mathcal{J}_{n-1} + \frac{1}{\alpha}A^* + \frac{1}{\beta}B^* + \frac{1}{\gamma}C^* + \frac{1}{\delta}D^*\right\}\right)^n \\ &+ 2^n \left(\frac{\mathcal{J}_n - \{A^* + B^* + C^* + D^*\}s\left\{\mathcal{J}_{n-1} + \frac{1}{\alpha}A^* + \frac{1}{\beta}B^* + \frac{1}{\gamma}C^* + \frac{1}{\delta}D^*\right\}}{-\{p\mathcal{J}_n - \mathcal{J}_{n+1} - [(p-\alpha)A^* + (p-\beta)B^* + (p-\gamma)C^* + (p-\delta)D^*]\}}\right)^n \end{aligned} \right]}{1 + (-s)^n + 2^{2-2n}((-p)^n + r^n) + 2^{1-3n}(-4q-p)^n + 2^{2-4n}(-p)^n}.$$

Therefore the proof is completed.

4. Conclusion

In this paper, we investigate the eigenvalue of $C(\mathcal{J})$ which is defined by tetranacci numbers. Tetranacci series of numbers each term is added to the next term by adding the four terms before and they are a continuing sequence of numbers. So tetranacci series of numbers is generalization of Fibonacci numbers. So all theorems and conclusions, which are found for tetranacci numbers, can be applied to Fibonacci numbers. Consequently, These theorems are generalization of the eigenvalues and determinants of the circulant matrix which is defined by Fibonacci numbers.

Acknowledgment

This work was supported by Amasya University Research Fund for financial support through Project number FMB-BAP 19-0419. The author thanks the Amasya University Scientific Research Projects Unit for financial support.

References

Bahşi, M. (2015). On the norms of circulant matrices with the generalized Fibonacci and Lucas numbers. *Turkic World Mathematical Society Journal of Pure and Applied Mathematics*, 6(1), 84-92.

Bahsi, M. and Solak, S. (2014). On the norms of r-circulant matrices with the hyper-Fibonacci and Lucas numbers. *Journal of Mathematical Inequalities*, 8(4), 693-705.

Cauchy, A.L. (1829). Sur l'équation à l'aide de laquelle on détermine les inégalités séculaires des mouvements des planètes, *mineralogy and petrology. Exercices de Mathématiques*, 4 = Oeuvres, (2)9, 174-95.

Davis, P. J. (1979). *Circulant matrices*. John Wiley and Sons: New York.

Feinberg, M. (1963). Fibonacci-Tribonacci. *The Fibonacci Quarterly*, 1(1), 71-74.

Hermite, C. (1855). Remarque sur un theoreme de M. Cauchy. *Comptes Rendus de L'Académie des Sciences.*, 41 = Oeuvres 1, 459- 481.

Kızılateş, C. (2017). On the quadra Lucas-Jacobsthal numbers. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 7(2), 619-621.

Kızılateş, C. and Tuglu, N. (2016). On the bounds for the spectral norms of geometric circulant matrices. *Journal of Inequalities and Applications*, 2016(1), 1-15.

Kızılateş, C. and Tuglu, N. (2018). On the norms of geometric and symmetric geometric circulant matrices with the Tribonacci Number. *Gazi University Journal of Science*, 31(2), 555-567.

Kirkpatrick, T.B. (1977). Fibonacci sequences and additive triangles of higher order and degree. *Fibonacci Quarterly*, 15 (4), 319–322.

Kocer, E. G., Mansour, T. and Tuglu, N. (2007). Norms of circulant and semicirculant matrices with horadam's Numbers. *Ars Combinatoria*, 85, 353-359.

Özkoç, A. and Ardiyok, E. (2016). Circulant and negacyclic matrices via tetranacci numbers. *Honam Mathematical Journal*, 38(4), 725-738. <https://doi.org/10.5831/HMJ.2016.38.4.725>.

Shen, S. Q. and Cen, J. M. (2010). On the spectral norms of r-circulant matrices with the k-Fibonacci and k-Lucas numbers. *International Journal of Contemporary Mathematical Sciences*, 5(12), 569-578.

Solak, S. (2005). On the norms of circulant matrices with the Fibonacci and Lucas numbers. *Applied Mathematics and Computation*, 160(1), 125-132. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2003.08.126>.

Spickerman, W.R. (1982). Binet's formula for the tribonacci sequence. *The Fibonacci Quarterly*, 20 (2), 118-120.

Spickerman, W.R. and Joyner, R.N. (1984). Binet's formula for the recursive sequence of order k. *The Fibonacci Quarterly*, 22 (4), 327–331.

- Tascı, D. and Acar, H. (2017). Gaussian tetranacci numbers. *Communications in Mathematics and Applications*, 8(3), 379-386.
- Tuglu, N. and Kızılateş, C. (2015a). On the norms of circulant and r-circulant matrices with the hyperharmonic Fibonacci numbers. *Journal of Inequalities and Applications*, 253(2015).
- Tuglu, N. and Kızılateş, C. (2015b). On the norms of some special matrices with the harmonic Fibonacci numbers. *Gazi University Journal of Science*, 28(3), 497-501.
- Tuglu, N., Kızılateş, C. and Kesim, S. (2015). On the harmonic and hyperharmonic Fibonacci numbers. *Advances in Difference Equations*, 2015(1), 1-12.
- Waddill, M. E. (1992). The tetranacci sequence and generalizations. *The Fibonacci Quarterly*, 30(1), 9-20.
- Yesil Baran, F. and Yetiş, T. (2019). On The norms of circulant matrices via generalized tetranacci numbers. *Bilecik Seyh Edebali University Journal of Science*, 6(2), 444-454. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.662239>.
- Zaveri M. N. and Patel, J. K. (2015). Binet's formula for the tetranacci sequence. *International Journal of Science and Research*, 78-96.

Lif boyunun ve içeriğinin geopolimer betonların asit direncine etkisi

The effect of fiber length and content on acid resistance of geopolymer concrete

Fatih KANTARCI*^{1,a}

İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44280, Malatya

• Geliş tarihi / Received: 21.01.2021 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 19.02.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 28.02.2021

Öz

Çimento üretimi beraberinde birçok ekonomik ve çevresel sorunu getirerek yıldan yıla artışını sürdürmektedir. Çimentoya alternatif bağlayıcı arayışları 21. yüzyılın en popüler araştırma konuları arasında yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda alkali aktive edilmiş bağlayıcılar olarak da adlandırılan “geopolimer” bağlayıcılar öne çıkmaktadır. Geopolimerler yüksek silis ve alümin içeriğine sahip doğal ve atık puzolanların yüksek alkali ortamlarda aktive edilmesiyle elde edilen yeni nesil üç boyutlu bağlayıcılardır. Geopolimer bağlayıcılar normal Portland çimentolu bağlayıcılar ile kıyaslandığında dayanım, dayanıklılık ve ekonomik açıdan oldukça önemli avantajlara sahiptirler. Ancak geopolimer betonların yaygın kullanımının önündeki en önemli engel, üretiminde ihtiyaç duyulan ısı kütür işlemidir. Lif boyunun ve içeriğinin lifli geopolimer betonların asit direncine etkisi üzerine ise literatürde çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, lif boyunun ve lif içeriğinin ısı kütür işlemi uygulanmadan üretilmiş geopolimer betonların asit direncine etkisi ortaya çıkarılmıştır. Bu amaçla 6 ve 12 mm boylarında polipropilen (PP) lif, hacimce %0.5, %1.0 ve %1.5 oranlarında ilave edilmiştir. Alüminosilikat kaynağı olarak yüksek fırın cürufu (YFC) kullanılmıştır. Laboratuvar koşullarında 28 gün kütür edilen geopolimer beton numuneleri daha sonra 14 ve 28 gün boyunca %5 HCl çözeltisine maruz bırakılmıştır. Asit etkisi sonrasında, geopolimer betonların basınç dayanımı, ağırlık, ultra ses hızı (UPV), dış görünüş gibi fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır. Ayrıca SEM analizleri ile mikro yapıları incelenmeleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, PP lif katkısının köprüleme etkisiyle çatlak oluşumunu engellediği için geopolimer betonların asit direncini önemli ölçüde iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Asit direnci, Geopolimer, Lif boyu, Lif içeriği

Abstract

Cement production continues to increase year by year, bringing many economic and environmental problems. The search for alternative binders to cement is among the most popular research topics of the 21st century. In the studies conducted, "geopolymer" binders, also called alkali activated binders, stand out. Geopolymers are the new generation three-dimensional binders obtained by activating natural and waste pozzolans with high silica and alumina content in high alkaline environments. Geopolymer binders have quite important advantages in terms of strength, durability and economy when compared to normal Portland cement binders. However, the most important obstacle to the widespread use of geopolymer concretes is the thermal curing process required in its production. There is no study in the literature on the effect of fiber length and content on acid resistance of fiber reinforced geopolymer concretes. In this study, the effect of fiber length and fiber content on acid resistance of geopolymer concretes produced without heat curing was revealed. For this purpose, 6 and 12 mm length polypropylene (PP) fiber was added at the rate of 0.5%, 1.0% and 1.5% by volume. Blast furnace slag (BFS) was used as an aluminosilicate source. Geopolymer concrete samples cured for 28 days in laboratory conditions were then exposed to 5% HCl solution for 14 and 28 days. The changes in the physical and mechanical properties of geopolymer concrete such as compressive strength, weight, ultrasonic pulse velocity (UPV), visual appearance after acid effect were investigated. In addition, microstructures were examined with SEM analyzes. As a result of the experimental studies, it has been determined that the PP fiber additive significantly improves the acid resistance of geopolymer concretes as it prevents the formation of cracks with the bridging effect.

Keywords: Acid resistance, Geopolymer, Fiber length, Fiber content

*a Fatih KANTARCI; fatih.kantarci@inonu.edu.tr, Tel: (0422) 377 48 81, orcid.org/0000-0001-6863-995X

1. Giriş

Portland çimentosu, 2019 yılı itibarı ile yıllık 4.2 milyar ton üretim kapasitesini aşan vazgeçilmez bir yapı malzemesidir (Ganesh ve Muthukannan, 2021). Artan talep ile paralel olarak çimento üretiminin 2050 yılında 6.1 milyar ton olacağı tahmin edilmektedir (Ranjbar ve Zhang, 2020; Scrivener vd., 2018). Çimento üretimindeki bu artış beraberinde birçok ekonomik ve çevresel sorunu getirmektedir. Kalkerin ve fosil yakıtların yakılmasına bağlı olarak, 1 ton Portland çimentosu imalatı için yaklaşık olarak 1 ton CO₂ salınımı meydana gelmektedir (Davidovits, 1993; Davidovits, 1994; Malhotra, 1999; Kajaste ve Hurme, 2016; Assi vd., 2018; Moradikhou vd., 2020). Dünyada toplam CO₂ salınımının %7'sinin çimento endüstrisinden kaynaklandığı bilinmektedir (Meyer, 2009; Shi vd. 2012). Bu oranının önümüzdeki birkaç yıl içerisinde %17'ye ulaşacağı tahmin edilmektedir (El-Gamal ve Selim, 2017; Damilola, 2013). CO₂ salınımının neden olduğu sera gazı etkisi küresel sıcaklığı arttırmakta ve iklim değişikliklerine neden olmaktadır. İklim değişikliği yeryüzündeki organizmaların varlığını tehdit eden önemli sorunlardan biridir. Ayrıca çimento üretimi yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirildiğinden 4.8 GJ/t değerinde enerji sarfiyatı gerektirmektedir (Ranjbar ve Zhang, 2020; Worrell vd., 2001). Enerji fiyatlarındaki artışlar ise çimento üretim maliyetini de arttırmaktadır.

Yukarıda bahsedilen ekonomik ve çevresel nedenlerden ötürü Portland çimentosuna alternatif bağlayıcı arayışları 21. yüzyılda ivme kazanmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, alkali aktive edilmiş ya da geopolimer bağlayıcılar olarak adlandırılan yeni nesil bir bağlayıcı türü üzerine yoğunlaşmıştır. Geopolimer terimi ilk defa 1978 yılında Fransız araştırmacı Davidovits tarafından alüminosilikat esaslı inorganik polimerlerin tanımı için kullanılmıştır. Geopolimerler uçucu kül, yüksek fırın cürufu, tuf, pomza, perlit gibi doğal ve atık puzolanların yüksek alkali çözeltilisi ile sentezlenmesi sonucu elde edilen yeni nesil bir bağlayıcı türüdür. Geopolimer bağlayıcılar Portland çimentosu ile kıyaslandığında ekonomik, çevresel ve durabilite özellikleri açısından birçok avantaja sahiptir. Geopolimerler, reaktivitesi, maliyeti ve miktarı bakımından farklı birçok alüminosilikat hammaddeden üretilebilir (Davidovits, 2008). Çimentoya alternatif olarak önerilen geopolimerler, çimento üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonlarını %80 oranında azaltabilir (Duxson vd., 2007; Davidovits, 2011; Ganesh ve Muthukannan, 2021). Geopolimer

üretiminin Portland çimento üretimine kıyasla %60 oranında enerji tasarrufu sağladığı (Comrie ve Davidovits, 1988; Davidovits vd., 1990) ve %75 oranında daha ekonomik olduğu çeşitli çalışmalarda ifade edilmiştir (Singh, 2018; Ganesh ve Muthukannan, 2021).

Asit etkisi betonun servis ömrünü önemli ölçüde azaltan çevresel etkilerden bir tanesidir. Asidik ortam doğal olarak meydana gelebileceği gibi tarım, endüstriyel ve kentsel faaliyetler sonucunda da oluşabilir (Kwasny vd., 2018). Asit saldırısı sonucunda oluşan tahribatın boyutu, etki eden asitin tipi, konsantrasyonu, etkiye süresi ve beton özelliklerine bağlı olarak değişir (Kwasny vd., 2018; Zivica ve Bajza, 2002; Beddoe ve Dorner, 2005). Asit etkisine maruz kalan geopolimer betonlarda bozulma alüminosilikat yapının kırılması sonucu meydana gelir (Bakharev, 2005). Asit etkisi sonucunda basınç dayanımında görülen düşüş esas olarak bu yapının kırılması sonucunda meydana gelen çatlak oluşumu ile alakalıdır (Djobo vd., 2016). Geopolimer betonların üç boyutlu alüminosilikat yapılarından dolayı asit etkilerine karşı üstün direnç gösterdiği çeşitli çalışmalarda vurgulanmıştır (Palomo vd., 1999; Sata vd. 2012; Bakharev vd., 2003; Ganesh ve Muthukannan, 2021; Moradikhou vd., 2020).

Lifler düşük maliyetleri ve üstün özellikleri nedeniyle son yıllarda beton üretiminde yoğun olarak tercih edilmektedirler. Betonun zayıf olan çekme ve çatlak oluşumu direncinin lif katkısı ile geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Cam elyaf, polipropilen (PP), çelik, bazalt, karbon vb. lifler toplam beton hacminin yüzdesi olarak karışıma ilave edilmektedir (Dawood ve Ramli, 2011; Sabu ve Karthi, 2018; Reed vd., 2014; Aswani ve Karthi, 2017). Lifli geopolimer betonlar ise görece olarak yeni bir araştırma konusudur. Lif tipi, çapı, boyu, oranı ve karıştırma yöntemi geopolimer betonun özelliklerini doğrudan etkiler. Lif boyunun ve oranının geopolimer betonların asit direncine etkisi üzerine literatürde çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın yeniliği, lif boyunun ve lif içeriğinin ısıl kür işlemi uygulanmadan üretilmiş geopolimer betonların asit direncine etkisini ortaya çıkarmasıdır. Bu amaçla 6 ve 12 mm boylarında PP lif, hacimce %0.5, %1.0 ve 1.5 oranlarında ilave edilmiştir. Laboratuvar koşullarında 28 gün kür edilen geopolimer beton numuneleri daha sonra 14 ve 28 gün boyunca %5 HCl çözeltilisine maruz bırakılmıştır. Asit etkisi sonrasında, geopolimer betonların basınç dayanımı, ağırlık, ultra ses hızı (UPV), dış görünüş gibi fiziksel ve mekanik özelliklerindeki

değişimler araştırılmıştır. Ayrıca SEM analizleri ile mikro yapıları incelenmeleri gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve metod

2.1. Materyal

2.1.1. Yüksek fırın cürufu (YFC)

Bağlayıcı malzeme alüminosilikat kaynağı olarak kullanılan YFC Karçimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş'den tedarik edilmiştir. YFC'nin kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. YFC'nin kimyasal bileşimleri

Bileşen, (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	Mn ₂ O ₃
YFC	32.47	9.94	1.25	32.45	0.82	0.31	9.31	1.16	3.51

YFC'nin özgül ağırlığı 2.86, özgül yüzeyi ise 3940 cm²/g'dır.

2.1.2. Sodyum hidroksit (NaOH)

Geopolimer bağlayıcı üretiminde sıklıkla kullanılan alkali aktivatör, kolay bulunabilirliği, düşük maliyeti ve düşük viskozitesi nedeniyle NaOH çözeltisidir. Bu sebeple bu çalışmada da NaOH tercih edilmiştir. NaOH aktivatörünün bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. NaOH alkali aktivatörünün bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri

Sodyum Hidroksit	
Kimyasal formülü	NaOH
Moleküler kütle, (g/mol)	39.997
Asitlik	Çok düşük (pH:13-14)
Çözünürlük, (g/l)	1110 (+20°C'de)
Renk	Beyaz
Yoğunluk, (g/cm ³)	2.13
Kaynama noktası, (°C)	1390
Erime noktası, (°C)	318
Donma noktası, (°C)	14

2.1.3. Su

Deneysel çalışmada kullanılan alkali aktivatör çözeltisi TS EN 1008 standardına uygun olan musluk suyu ile hazırlanmıştır. Karışıma çözelti haricinde ilave su katılmamıştır.

2.1.4. Agregat

Yapılan deneme dökümleri neticesinde, agregatane çapı arttıkça basınç dayanımının düştüğü

gözlemlendiğinden agregat maksimum tane çapı 8 mm olarak seçilmiştir. Agregatlar 0-2 mm, 2-4 mm ve 4-8 mm tane gruplarına ayrılmıştır (Şekil 1). Agregatların bazı fiziksel özellikleri TS EN 1097-6 standardına göre tespit edilmiş ve Tablo 3'de verilmiştir. Ayrıca agregatlar üzerinde TS EN 1744-1 standardına uygun olarak organik madde içeriği deneyi yapılmış ve kullanımının uygun olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1. Dere agregatı; a) 0-2 mm, b) 2-4 mm, c) 4-8 mm

Tablo 3. Agregaların fiziksel özellikleri

	Dere agregası		
	0-2 mm	2-4 mm	4-8 mm
Kuru özgül ağırlık	2.35	2.46	2.51
Doygun kuru yüzey özgül ağırlık	2.42	2.52	2.57
Su emme oranı, (%)	2.65	2.05	1.95

2.1.5. PP lif

Deneysel çalışmada 6 mm ve 12 mm boylarında PP lif kullanılmıştır (Şekil 2). Liflerin sadece boyları

farklı olup fiziksel ve mekanik özellikleri aynıdır ve Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4. PP liflerin mekanik ve fiziksel özellikleri

	PP lif tipi	
	PP 6 mm	PP 12 mm
Uzunluk, (mm)	6	12
Özgül ağırlık, (g/cm ³)	0.91	0.91
Çekme dayanımı, (MPa)	350	350
Elastisite modülü, (GPa)	4.2	4.2
Maksimum uzama, (%)	15	15
Su emme	Eser miktarda	Eser miktarda
Isı iletkenliği	Düşük	Düşük
Asit direnci	Yüksek	Yüksek
Alkali direnci	Yüksek	Yüksek

**Şekil 2.** Çalışmada kullanılan PP lif; a) 6 mm, b) 12 mm

2.1.6. HCl çözeltisi

28 günlük lifli geopolimer beton numuneleri 14 ve 28 gün boyunca %5 HCl çözeltisine maruz bırakılmıştır. Çözeltinin pH değeri belirli sıklıkta kontrol edilmiş ve pH değerinin 2.8~3.0 aralığında kalması için ihtiyaç duyuldukça çözelti yenilenmesi yapılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Deneysel parametreler

Geopolimer betonun üretim parametreleri ve lif oranı, literatür taraması ve ön dökümler neticesinde belirlenmiştir. Buna göre dozaj 400 kg/m³, alkali aktivatör çözeltisi/bağlayıcı oranı 0.53, alkali aktivatör konsantrasyonu 12 M olarak seçilmiştir. Karışıma 6 mm ve 12 mm boylarında hacimce

%0.5, %1.0 ve %1.5 boylarında PP lif ilave edilmiştir. Çalışmanın deneysel parametreleri Tablo 5’de özetlenmiştir.

2.2.2. Karışım oranları

Geopolimer beton karışımlarında YFC dozajı sabit 400 kg/m³, alkali aktivatör çözeltilisi/bağlayıcı oranı ise sabit 0.53 olarak seçilmiştir. 6 mm ve 12 mm

boylarında PP lifler karışıma hacimce %0.5, %1.0 ve %1.5 oranlarında ilave edilmiştir (Tablo 5). YFC, NaOH çözeltilisi ve liflerin hacimleri hesaplanıp 1 m³ hacimden çıkarılmış ve agregaların miktarları hesaplanmıştır. Karışım hesapları için [TS 802 ve TS 706 EN 12620+A1](#) standartlarından yararlanılmıştır. Geopolimer beton numunelerin 1 m³ hacim için karışım oranları Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 5. Geopolimer beton üretim parametreleri

Lif parametreleri		Geopolimer beton üretim parametreleri				
Boy, (mm)	Hacimce Oran, (%)	Dozaj, (kg)	Aktivatör/ Bağlayıcı oranı	Alkali aktivatör	Aktivatör kons. (M)	Kür koşulu
6	0.5	400	0.53	NaOH	12	Lab. (23°C)
12	1.0					
	1.5					

Tablo 6. Geopolimer beton numunelerin karışım oranları

Numune ID	Değişkenler		Geopolimer beton bileşenleri, (kg/m ³)					Teorik BHA, (kg/m ³)	
	Lif Özellikleri		YFC	NaOH çözeltilisi	Agrega				PP lif
	Boy, (mm)	Oran, (%)			0-2 mm	2-4 mm	4-8 mm		
Ref.	-	-	400	212	708.14	409.68	501.36	-	2231.18
PP6-0.5		0.5	400	212	702.70	406.53	497.50	4.55	2223.28
PP6-1.0	6	1.0	400	212	697.25	403.38	493.65	9.10	2215.38
PP6-1.5		1.5	400	212	691.81	400.23	489.79	13.65	2207.48
PP12-0.5		0.5	400	212	702.70	406.53	497.50	4.55	2223.28
PP12-1.0	12	1.0	400	212	697.25	403.38	493.65	9.10	2215.38
PP12-1.5		1.5	400	212	691.81	400.23	489.79	13.65	2207.48

2.2.3. Numune hazırlanması

Geopolimer beton numunelerinde, liflerin karışıma ilave edilme sırası homojen lif dağılımını doğrudan etkilediği için önemlidir. Daha önce yapılan çalışmalarda liflerin kuru karışıma yavaşça ilave edilmesi, daha sonra homojen kuru karışımın alkali aktivatör çözeltilisine tabi tutulması önerilmiştir ([Ranjbar ve Zhang; 2020; Vaidya ve Allouche, 2011; Li vd., 2005; Ganesan vd., 2015](#)). Bu doğrultuda ilk olarak, PP lifler belirlenen oranlarda YFC’ye yavaşça ilave edilmiş ve homojen karışım elde edilinceye kadar 5 dakika boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra agrega dahil edilmiş ve ilave 5 dakika karıştırılmıştır. Son olarak bir gün önceden hazırlanmış olan 12 M NaOH çözeltilisi kuru karışıma yavaşça eklenmiş ve karıştırılmıştır (Şekil 3). Taze haldeki geopolimer beton karışımı 5*5*5 cm boyutlarındaki çelik kalıplara yerleştirilmiştir. Yerleştirme sırasında önemli işlenebilirlik sorunları yaşanmamıştır. Geopolimer bağlayıcı üretiminde sıklıkla tercih edilen ve en

önemli dezavantajı olarak nitelendirilen ısıl kür işlemi uygulanmamıştır. 24 saat sonra kalıptan çıkarılan numuneler asit deneylerine tabi tutulmak amacıyla deney gününe (28. Gün) kadar laboratuvar koşullarında bekletilmiştir.

2.2.4. Uygulanan deneyler

28 günlük geopolimer beton numuneleri plastik kaplarda hazırlanmış olan %5 HCl çözeltilisine daldırılmıştır. Asit ortamında buharlaşma olmaması ve bunun sonucuna çözeltili yoğunluğunun değişmemesi için kapların üstünün kapalı olmasına özen gösterilmiştir. 14 ve 28 günün sonunda numuneler çözeltiliden çıkarılmış ve yüzeyler fırça ile silinmiştir. Asit etkisi sonucunda, geopolimer beton numunelerin basınç dayanımı, ağırlık, UPV, dış görünüş gibi fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler [ASTM C 109, ASTM C 267 ve ASTM C 597](#) standartları ile uyumlu olarak araştırılmıştır. Ayrıca numunelerin mikro yapıları SEM analizleri ile incelenmiştir.



Şekil 3. Lifli geopolimer beton üretimi; a) Kuru karışım, b) Taze lifli geopolimer beton, c) Sertleşmiş lifli geopolimer beton numunesi

3. Bulgular ve tartışma

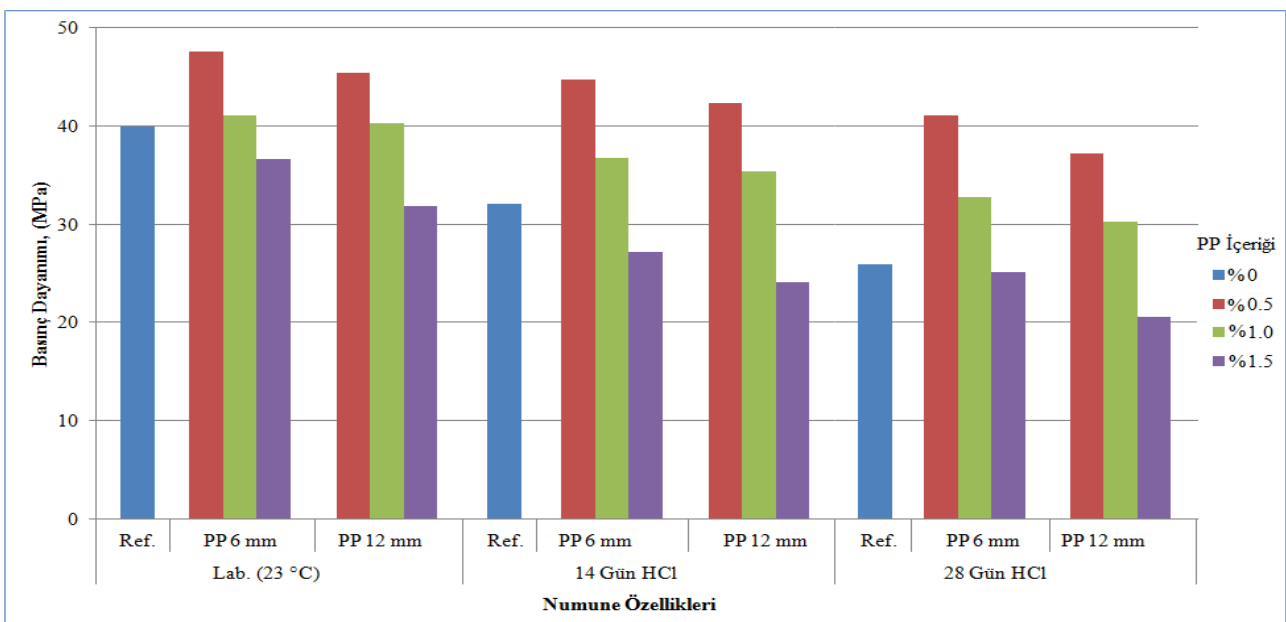
3.1. Basınç dayanımı

Geopolimer beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları ile 14 ve 28 gün boyunca %5 HCl çözeltisine maruz bırakılmış numunelerin basınç

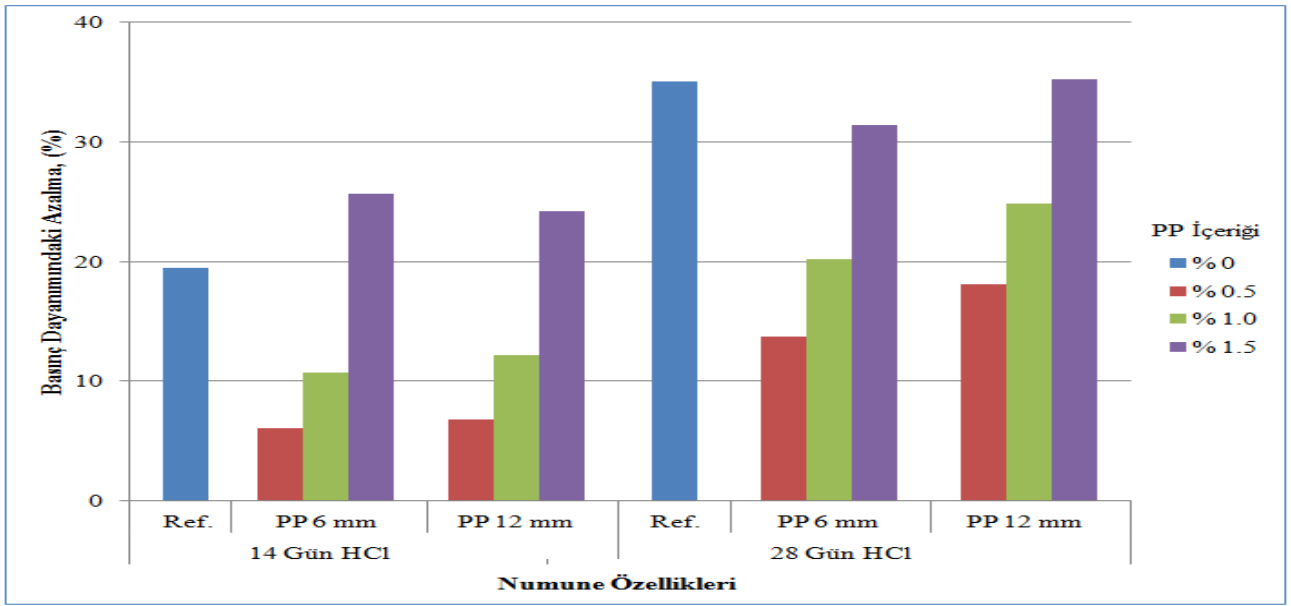
dayanımları Tablo 7’de verilmiş olup Şekil 4’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Ayrıca karşılaştırma yapabilmek amacıyla, asit etkisi sonucunda, maruz bırakılmamış numuneye kıyasla basınç dayanımında görülen azalma da Şekil 5’de verilmiştir.

Tablo 7. Geopolimer beton numunelerin asit etkisi öncesi ve sonrası basınç dayanımı değerleri

İncelenen Parametre		Lif İçeriği, (% Hacimce)						
		Ref.	PP 6 mm			PP 12 mm		
		0	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5
Basınç Dayanımı, (MPa)	28 Günlük Referans	39.9	47.6	41.1	36.6	45.4	40.3	31.8
	14 Gün HCl Sonrası	32.1	44.7	36.7	27.2	42.3	35.4	24.1
	28 Gün HCl Sonrası	25.9	41.1	32.8	25.1	37.2	30.3	20.6
Dayanımındaki Azalma, (%)	14 Gün HCl Sonrası	19.5	6.1	10.7	25.7	6.8	12.2	24.2
	28 Gün HCl Sonrası	35.1	13.7	20.2	31.4	18.1	24.8	35.2



Şekil 4. PP lif boyunun ve içeriğinin geopolimer betonların asit etkisi öncesi ve sonrası basınç dayanımlarına etkisi



Şekil 5. Geopolimer betonların asit etkisi sonucunda, maruz bırakılmamış numuneye kıyasla basınç dayanımında görülen azalma

Geopolimer beton numunelerin asit etkisi öncesi araştırma bulguları incelendiğinde, hacimce %0.5 oranında lif katkısının basınç dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir. Bu durum, lif katkısının çatlak oluşumunu engelleyen köprü görevi görmesi ve böylelikle bağlayıcı fazda daha yoğun bir mekanik bağ oluşumu sayesinde olabilir (Dawood ve Ramli, 2011; Sabu ve Karthi, 2018). Artan lif içeriğinin işlenebilirlik problemlerine yol açması nedeniyle basınç dayanımını düşürdüğü tespit edilmiştir. Azalan işlenebilirlik, lifler arasındaki bağlantıyı zayıflatır, matris içerisinde boşluklara neden olur, ara yüzey geçiş bölgelerinde kusurlara yol açar ve böylelikle basınç dayanımında azalmaya neden olur (Ranjbar ve Zhang, 2020; Zollo, 1997; Martinie vd. 2010; Zhang vd., 2018; Sukontasukkul vd., 2018; Moradikhrou vd., 2020). Optimum oranda lif katkısının geopolimer betonların basınç dayanımını iyileştirdiği çeşitli çalışmalarda doğrulanmıştır (Ranjbar ve Zhang, 2020; Moradikhrou vd., 2020; Mohseni, 2018). 6 mm lif boyu bütün içeriklerde daha yüksek basınç dayanımı sergilemiştir. Bu durum lif boyu arttıkça liflerin homojen dağılmasının daha zor olmasından kaynaklanmış olabilir (Wang vd., 2020).

Geopolimer betonların asit etkisi sonrası araştırma bulguları incelendiğinde, asit etkisi öncesi basınç dayanımları ile uyumlu olarak %0.5 oranında lif katkısının asit etkisine daha dayanıklı olduğu tespit

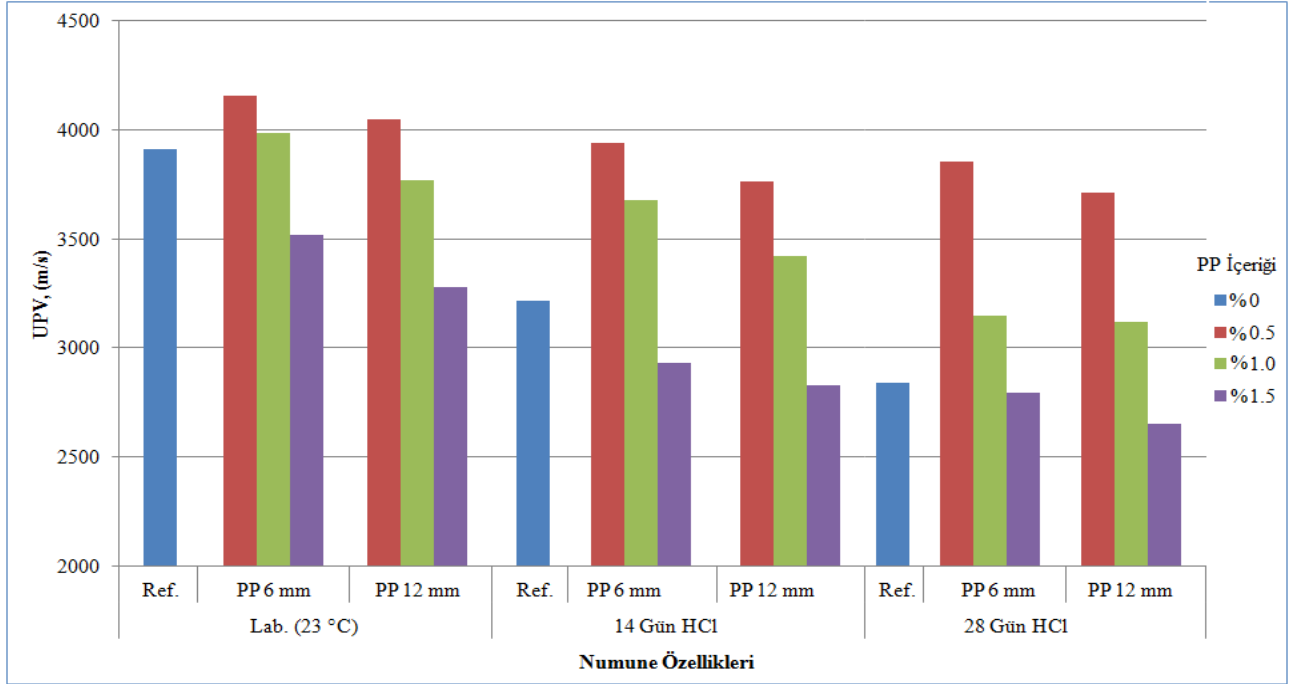
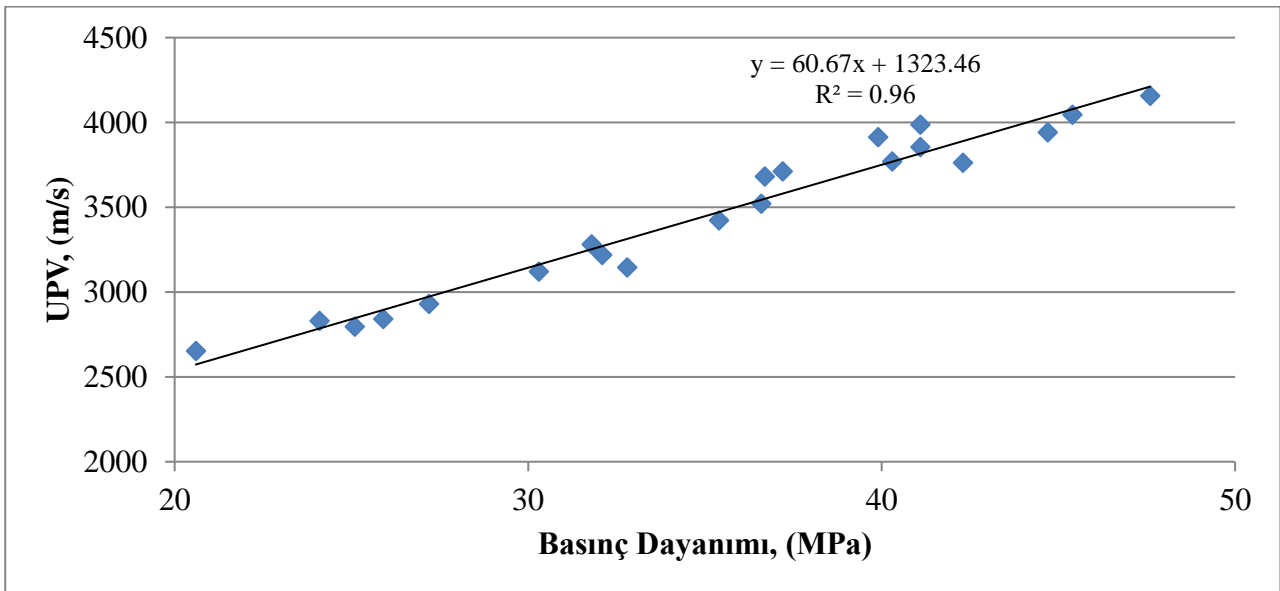
edilmiştir. Bu durum yukarıda da bahsedildiği üzere optimum oranda lif katkısının çatlak gelişimini engellemesi ve böylelikle asit çözeltisinin beton bünyesine nüfuz etmesinin zorlaşması nedeniyle olmuş olabilir. Buna karşılık %1.5 oranında lif katkısının asit direncini düşürmesi ise, artan lif içeriğinin boşluklu yapıya yol açması ve böylelikle asit çözeltisinin içyapıya daha kolay ulaşabilmesinden kaynaklı olabilir. Bununla birlikte, %1.0 oranında lif kullanılması basınç dayanımında kayda değer bir iyileşmeye neden olmazken, asit etkisi sonrası kalan basınç dayanımlarında daha az düşüşe neden olmuştur (Şekil 5). 6 mm boyunda PP lif kullanılması 12 mm'ye kıyasla daha etkili sonuçlar vermiştir. Optimum oranda lif içeren geopolimer betonların asit dirençlerinin yüksek olduğu çeşitli çalışmalarda doğrulanmıştır (Ranjbar ve Zhang, 2020; Ganesan vd., 2015; Yunsheng vd., 2008).

3.2. UPV değerleri

Geopolimer beton numunelerinin asit etkisi öncesi ve sonrası UPV değerleri Tablo 8'de verilmiş olup Şekil 6'da verilmiştir. Ayrıca basınç dayanımı ile UPV değerleri arasındaki ilişki Şekil 7'de gösterilmiştir.

Tablo 8. Geopolimer beton numunelerin asit etkisi öncesi ve sonrası UPV değerleri

İncelenen Parametre	Lif İçeriği, (% Hacimce)							
	Ref.	PP 6 mm			PP 12 mm			
		0	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5
UPV, (m/s)	28 Günlük Referans	3914	4156	3987	3521	4046	3769	3281
	14 Gün HCl Sonrası	3218	3941	3681	2930	3762	3423	2831
	28 Gün HCl Sonrası	2841	3854	3146	2796	3711	3120	2652

**Şekil 6.** Geopolimer beton numunelerin UPV değerleri**Şekil 7.** Geopolimer beton numunelerin basınç dayanımı ile UPV değerleri arasındaki ilişki

Geopolimer beton numunelerin UPV değerleri, basınç dayanımı bulguları ile uyumlu olarak lif içeriği arttıkça düşmüştür. Asit etki süresi arttıkça

UPV değerleri beklendiği gibi düşmüştür. %0.5 oranında lif katkısı matris yapıyı güçlendirdiği için UPV değerleri artmış, buna karşılık %1.5 oranında

lif ilavesi boşluklu yapı oluşturması nedeniyle UPV değerleri düşmüştür. Ayrıca asit etkisi sonucunda bağlayıcı jellerin tahrip olması, boşluklu yapının artmasına ve UPV değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Deneysel çalışmalar sonucunda geopolimer beton numunelerin basınç dayanımı ile UPV değerleri arasında iyi bir ilişki ($R^2=0.96$) elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen UPV değerleri daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen bulgular ile

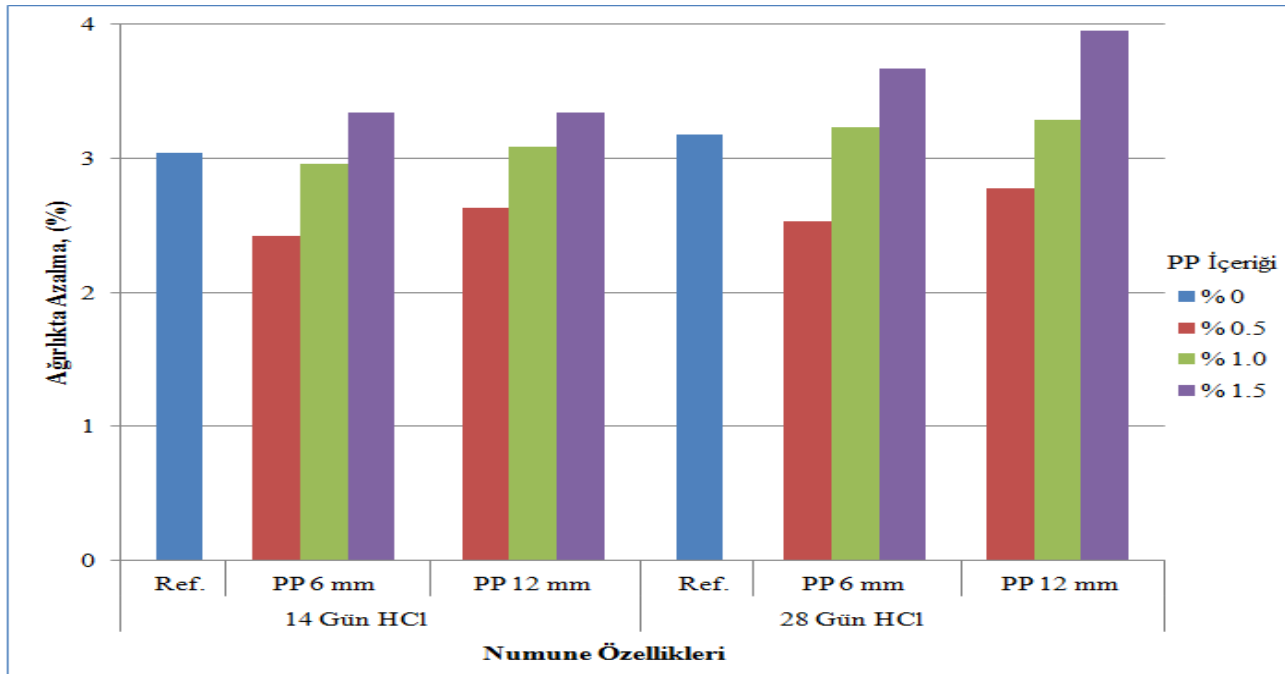
örtüşmektedir (Kantarıcı vd., 2019; Ghosh vd., 2018; Yadollahi vd., 2015; Noushini ve Castel, 2016).

3.3. Ağırlık değişimi

Geopolimer beton numunelerinin asit etkisi sonrası ağırlığında görülen azalma Tablo 9’da verilmiş olup Şekil 8’de gösterilmiştir.

Tablo 9. Geopolimer beton numunelerin asit etkisi sonrası ağırlık kayıpları

İncelenen Parametre		Lif İçeriği, (% Hacimce)						
		Ref.	PP 6 mm			PP 12 mm		
		0	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5
Ağırlıkta azalma, (%)	14 Gün HCl Sonrası	3.04	2.42	2.96	3.34	2.63	3.09	3.54
	28 Gün HCl Sonrası	3.18	2.53	3.23	3.67	2.78	3.29	3.95



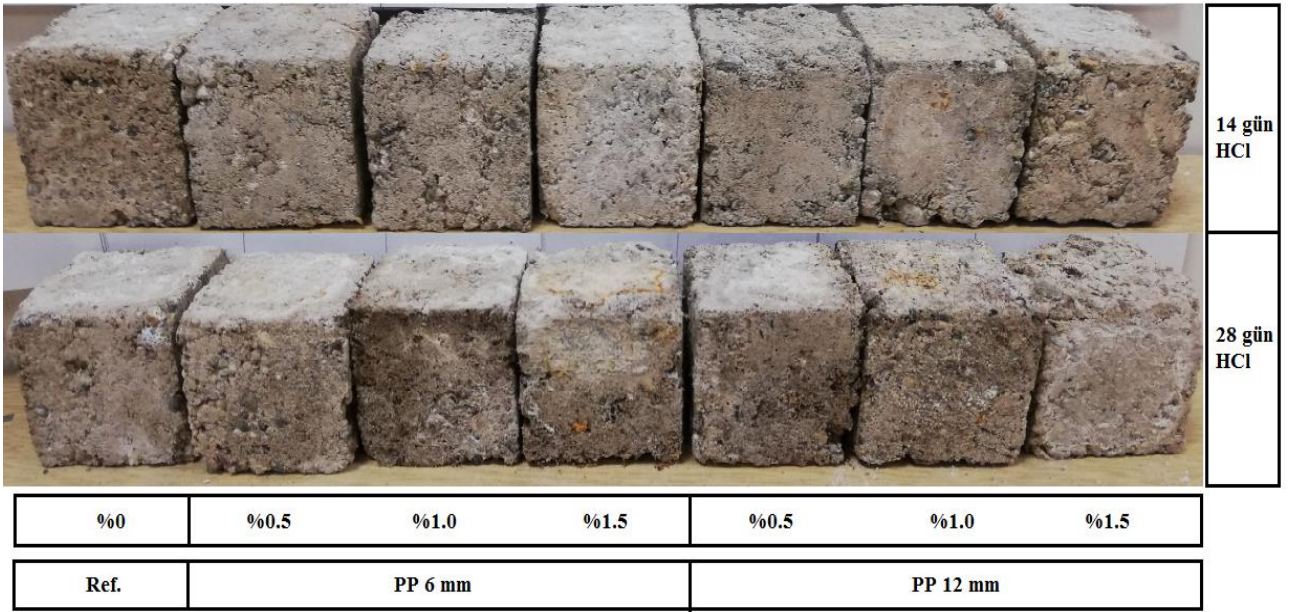
Şekil 8. Geopolimer beton numunelerin asit etkisi sonrası ağırlık kayıpları

Asit etkisi sonucunda geopolimer betonların ağırlıkları beklendiği gibi düşmüştür. Asit etki süresi arttıkça ağırlık kayıpları da artmıştır. Asit etkisi sonucunda meydana gelen ağırlık kayıpları geopolimer jel matrisindeki alüminosilikat bağlarının kırılmasından kaynaklanmaktadır (Djobo vd., 2016; Bakharev, 2005). Ancak %0.5 oranında lif katkısı, çatlak gelişimini engellemesi ve böylelikle asit çözeltisinin beton bünyesine daha az nüfuz etmesi nedeniyle ağırlık kayıplarını azaltmıştır. Geopolimer betonların asit ortamlarında ağırlık kayıplarının, normal Portland çimentolu betonlara kıyasla daha az olduğu çeşitli çalışmalarda doğrulanmıştır (Ariffin vd., 2013;

Kim vd., 2014; Davidovits, 1991; Huseien vd., 2017; Bhutta vd., 2014). Bu çalışmada ise hacimce %0.5 oranında lif katkısının asit ortamlarında ağırlık kayıplarını daha da azalttığı ortaya çıkarılmıştır. Lif içeriği ve lif boyu arttıkça ağırlık kayıpları da artmıştır.

3.4. Görsel inceleme

Geopolimer beton numunelerinin 14 ve 28 gün boyunca %5 HCl çözeltisine maruz bırakıldıktan sonraki görünüşleri Şekil 9’da verilmiştir.



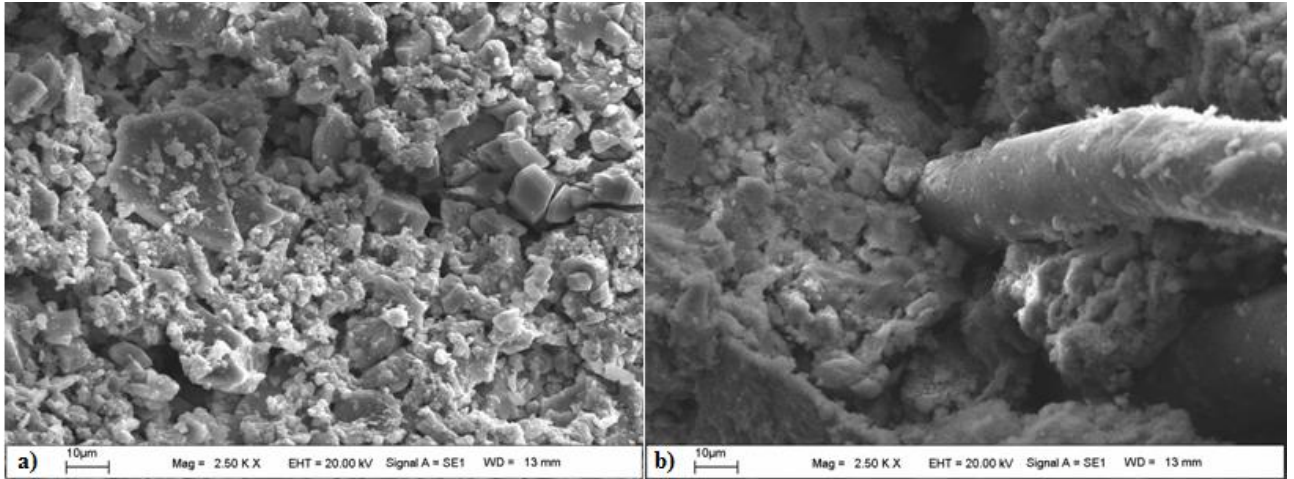
Şekil 9. Geopolimer numunelerin asit etkisi sonrası görünüşleri

Geopolimer beton numunelerde asit etkisi sonucunda yüzeyde aşınmalar ve köşelerde kırılmalar meydana gelmiştir. Özellikler %1.5 oranında lif içeriğine sahip geopolimer betonlarda ağırlık kayıpları ile uyumlu olarak daha fazla tahribat gözlenmiştir. Ayrıca numunelerin yüzeyinde yer yer beyaz renkli tabakalanmalar tespit edilmiştir. Benzer oluşumlar [Guo vd. \(2016\)](#) tarafından %5 HCl çözeltisine maruz bırakılmış geopolimer betonlarda da rapor edilmiştir. Bu

durum geopolimer jel tabakası ile asit çözeltisi arasında oluşan çökeltme reaksiyonlarından kaynaklı olabilir ([Djobo vd., 2016](#)).

3.5. Mikroyapı analizi

Geopolimer beton numunelerinin 14 gün %5 HCl çözeltisine maruz bırakıldıktan sonraki SEM görüntüleri Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. 14 gün %5 HCl etkisine maruz bırakılmış geopolimer beton numunelerinin SEM görüntüleri, a) Lif katkısız referans numune, b) 6 mm boyunda %0.5 oranında lif katkılı numune

SEM görüntüleri incelendiğinde optimum oranda lif katkısının bağlayıcı fazda oluşturduğu köprü etkisi sayesinde daha yoğun ve kompakt bir mikro yapıya neden olduğu, buna karşılık lif katkısız numunelerin ise göreceli olarak daha boşluklu yapıda olduğu görülmüştür. Bu durum basınç

dayanımı ve ağırlıklardaki düşüş bulguları ile örtüşmektedir.

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, laboratuvar koşullarında üretilmiş geopolimer betonların asit direncine lif boyunun ve

içeriğinin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla 6 ve 12 mm boylarında PP lif, hacimce %0.5, %1.0 ve %1.5 oranlarında ilave edilmiştir. Araştırma bulguları şu şekilde özetlenebilir:

- Hacimce %0.5 oranında lif katkısı, çatlak oluşumunu engelleyen köprü görevi görmesi ve böylelikle bağlayıcı fazda daha yoğun bir mekanik bağ oluşturması sayesinde geopolimer betonların asit öncesi ve sonrası basınç dayanımını arttırmıştır.
- Hacimce %1.5 oranında lif katkısı, artan lif içeriğinin boşluklu yapıya yol açması ve böylelikle asit çözeltisinin içyapıya daha kolay ulaşabilmesi nedeniyle asit direncini düşürmüştür.
- 6 mm boyunda PP lif kullanılması homojen dağılmasının daha kolay olması nedeniyle 12 mm'ye kıyasla daha etkili sonuçlar vermiştir
- UPV değerleri, basınç dayanımı bulguları ile uyumlu olarak lif içeriği arttıkça düşmüştür. Basınç dayanımı ile UPV değerleri arasında iyi bir ilişki ($R^2=0.96$) elde edilmiştir.
- Hacimce %0.5 oranında lif katkısı, çatlak gelişimini engellemesi ve böylelikle asit çözeltisinin beton bünyesine daha az nüfuz etmesi nedeniyle ağırlık kayıplarını azaltmıştır.
- Hacimce %1.5 lif içeren geopolimer beton numunelerinin asit etkisi sonucunda yüzeyinde aşınmalar ve köşelerde kırılmalar meydana gelmiştir. Ayrıca numunelerin yüzeyinde çökme reaksiyonları nedeniyle yer yer beyaz renkli tabakalanmalar tespit edilmiştir.
- Hacimce %0.5 lif katkısının bağlayıcı fazda oluşturduğu köprü etkisi sayesinde daha yoğun ve kompakt bir mikro yapıya neden olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda hacimce %0.5 lif katkısının, %1.0 ve %1.5 oranlarına kıyasla daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Lifli geopolimer betonların yaygın bir şekilde kullanılabilmesi için çeşitli lif türlerinin ve oranlarının farklı çevresel koşullar altındaki etkisinin ayrıntılı bir şekilde ortaya çıkarılmasına ihtiyaç vardır. Sürdürülebilir yapı malzemesi olan geopolimer betonların kullanılması çevresel ve ekonomik birçok avantaj sağlayacaktır.

Kaynaklar

Ariffin, M. A. M., Bhutta, M. A. R., Hussin, M. W., Tahir, M. M. and Aziah, N. (2013). Sulfuric acid resistance of blended ash geopolymer concrete. *Construction and building materials*, 43, 80-86.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.018>

Assi, L.N., Deaver, E.E. and Ziehl, P. (2018). Effect of source and particle size distribution on the mechanical and microstructural properties of fly ash-based geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 167, 372-380. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.193>

ASTM C109. (2020). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens). ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C267-20. (2020). Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts, and Monolithic Surfacing and Polymer Concretes. ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C597-16. (2016). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Aswani, E. and Karthi, L. (2017). A literature review on fiber reinforced geopolymer concrete. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8(2), 408-411.

Bakharev, T. (2005). Resistance of geopolymer materials to acid attack. *Cement and concrete research*, 35(4), 658-670. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.005>

Bakharev, T., Sanjayan, J. G. and Cheng, Y. B. (2003). Resistance of alkali-activated slag concrete to acid attack. *Cement and Concrete research*, 33(10), 1607-1611. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00125-X)

Beddoe, R. E. And Dorner, H. W. (2005). Modelling acid attack on concrete: Part I. The essential mechanisms. *Cement and concrete research*, 35(12), 2333-2339. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.04.002>

Bhutta, M. A. R., Hussin, W. M., Azreen, M. and Tahir, M. M. (2014). Sulphate resistance of geopolymer concrete prepared from blended waste fuel ash. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(11), 04014080. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001030](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001030)

Comrie, D.C. and Davidovits, J. (1988). Long Term Durability of Hazardous Toxic and Nuclear Waste Disposals, *Proceedings of Geopolymer88; First European Conference on Soft Mineralogy*, Compiegne.

- Damilola, O.M. (2013). Syntheses, characterization and binding strength of geopolymers: a review. *International Journal of Materials Science and Applications*, 2(6), 185–193. doi: 10.11648/j.ijmsa.20130206.14
- Davidovits, J. (1991). Geopolymers: inorganic polymeric new materials. *Journal of Thermal Analysis and calorimetry*, 37(8), 1633-1656. <https://doi.org/10.1007/bf01912193>
- Davidovits, J. (1993). Geopolymer cements to minimise carbon-dioxide greenhousewarming. *Ceramic Transactions*, 37, 165–182.
- Davidovits, J. (1994). High-Alkali Cements for 21st Century Concretes. *ACI Special Publication*, 144, 383-398.
- Davidovits, J. (2008). *Geopolymer Chemistry and Applications*, Institut Géopolymère, Saint-Quentin.
- Davidovits, J. (2011). *Geopolymer Chemistry and Applications*, third ed. Institute of Geopolymere.
- Davidovits, J., Comrie, D.C., Paterson, J.H. and Ritcey, D.J. (1990). Geopolymeric concretes for environmental protection, *Concrete International*, 12(7), 30–40.
- Dawood, E. T. and Ramli, M. (2011). Contribution of hybrid fibers on the properties of high strength concrete having high workability. *Procedia Engineering*, 14, 814-820. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.103>
- Djobo, J. N. Y., Elimbi, A., Tchakouté, H. K. and Kumar, S. (2016). Mechanical properties and durability of volcanic ash based geopolymer mortars. *Construction and Building Materials*, 124, 606-614. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.141>
- Duxson, P., Provis, J. L., Lukey, G. C. and Van Deventer, J. S. (2007). The role of inorganic polymer technology in the development of 'green concrete'. *Cement and Concrete Research*, 37(12), 1590-1597. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.08.018>
- El-Gamal, S.M.A. and Selim, F.A. (2017). Utilization of some industrial wastes for eco-friendly cement production. *Sustainable Materials and Technologies*, 12, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2017.03.001>
- Ganesan, N., Abraham, R. and Raj, S. D. (2015). Durability characteristics of steel fibre reinforced geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 93, 471-476. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.014>
- Ganesh, A.C. and Muthukannan, M. (2021). Development of high performance sustainable optimized fiber reinforced geopolymer concrete and prediction of compressive strength. *Journal of Cleaner Production*, 282, 124543. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124543>
- Ghosh, R., Sagar, S. P., Kumar, A., Gupta, S. K. and Kumar, S. (2018). Estimation of geopolymer concrete strength from ultrasonic pulse velocity (UPV) using high power pulser. *Journal of building engineering*, 16, 39-44. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.12.009>
- Guo, C. M., Wang, K. T., Liu, M. Y., Li, X. H. and Cui, X. M. (2016). Preparation and characterization of acid-based geopolymer using metakaolin and disused polishing liquid. *Ceramics International*, 42(7), 9287-9291. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.02.073>
- Huseien, G. F., Mirza, J., Ismail, M., Ghoshal, S. K. and Hussein, A. A. (2017). Geopolymer mortars as sustainable repair material: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 54-74. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.076>
- Kajaste, R. and Hurme, M. (2016). Cement industry greenhouse gas emissions-management options and abatement cost. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4041-4052. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.055>
- Kantarci, F., Türkmen, İ. and Ekinçi, E. (2019). Optimization of production parameters of geopolymer mortar and concrete: A comprehensive experimental study. *Construction and Building Materials*, 228, 116770. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116770>
- Kim, Y. Y., Lee, B. J., Saraswathy, V. and Kwon, S. J. (2014). Strength and durability performance of alkali-activated rice husk ash geopolymer mortar. *The Scientific World Journal*, 2014, 209584. <https://doi.org/10.1155/2014/209584>
- Kwasny, J., Aiken, T. A., Soutsos, M. N., McIntosh, J. A. and Cleland, D.J. (2018). Sulfate and acid resistance of lithomarge-based geopolymer mortars. *Construction and Building Materials*, 166, 537-553. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.129>
- Li, Z., Zhang, Y. And Zhou, X. (2005). Short fiber reinforced geopolymer composites manufactured by extrusion. *Journal of materials in civil engineering*, 17(6), 624-631.

DOI:10.1061/(ASCE)0899-1561(2005)17:6(624)

- Malhotra, V.M. (1999). Making Concrete “Greener” With Fly Ash. *Concrete International*, 21(5), 61-66.
- Martinie, L., Rossi, P. and Roussel, N. (2010). Rheology of fiber reinforced cementitious materials: classification and prediction. *Cement and concrete research*, 40(2), 226-234. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.08.032>
- Meyer, C. (2009). The greening of the concrete industry. *Cement and Concrete Composites*, 31(8), 601-605. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.12.010>
- Mohseni, E. (2018). Assessment of Na₂SiO₃ to NaOH ratio impact on the performance of polypropylene fiber-reinforced geopolymer composites. *Construction and Building Materials*, 186, 904-911. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.032>
- Moradikhoh, A.B., Esparham, A. and Avanaki, M.J. (2020). Physical & mechanical properties of fiber reinforced metakaolin-based geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 25,118965 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118965>
- Noushini, A. and Castel, A. (2016). The effect of heat-curing on transport properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 112, 464-477. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.210>
- Palomo, A., Blanco-Varela, M. T., Granizo, M. L., Puertas, F., Vazquez, T. and Grutzeck, M. W. (1999). Chemical stability of cementitious materials based on metakaolin. *Cement and Concrete Research*, 29(7), 997-1004. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00074-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00074-5)
- Ranjbar, N., and Zhang, M. (2020). Fiber-reinforced geopolymer composites: A review. *Cement and Concrete Composites*, 107, 103498. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103498>
- Reed, M., Lokuge, W. and Karunasena, W. (2014). Fibre-reinforced geopolymer concrete with ambient curing for in situ applications. *Journal of materials science*, 49(12), 4297-4304. <https://doi.org/10.1007/s10853-014-8125-3>
- Sabu, A. and Karthi, L. (2018). A review on strength properties of fibre and hybrid fibre reinforced geopolymer concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5, 1686-1690.
- Sata, V., Sathonsaowaphak, A. and Chindaprasirt, P. (2012). Resistance of lignite bottom ash geopolymer mortar to sulfate and sulfuric acid attack. *Cement and Concrete Composites*, 34(5), 700-708. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.01.010>
- Scrivener, K.L., John, V.M. and Gartner, E.M. (2018). Eco-efficient cements: potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, 114, 2–26. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>
- Shi, X.S., Wang, Q.Y., Zhao, X.L. and Collins, F. (2012). Discussion on properties and microstructure of geopolymer concrete containing fly ash and recycled aggregate. *Advanced Materials Research*, 450-451, 1577-1583. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.450-451.1577>
- Singh, N.B. (2018). Fly ash-based geopolymer binder: A future construction material. *Minerals*, 8(7), 299. <https://doi.org/10.3390/min8070299>
- Sukontasukkul, P., Pongsopha, P., Chindaprasirt, P. and Songpiriyakij, S. (2018). Flexural performance and toughness of hybrid steel and polypropylene fiber reinforced geopolymer. *Construction and Building Materials*, 161, 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.122>
- TS 706 EN 12620+A1. (2009). Aggregates for concrete. Turkish Standards Institution, Ankara-Turkey.
- TS 802. (2016). Design of concrete mixes. Turkish Standards Institution, Ankara-Turkey.
- TS EN 1008. (2003). Mixing water for concrete- Specifications for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete, Turkish Standards Institution, Ankara-Turkey.
- TS EN 1097–6. (2013). Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 6: Determination of particle density and water absorption. Turkish Standards Institution, Ankara-Turkey.
- TS EN 1744–1:2009+A1. (2013). Tests for chemical properties of aggregates - Part 1: Chemical analysis. Turkish Standards Institution, Ankara-Turkey.

- Vaidya, S. and Allouche, E. N. (2011). Strain sensing of carbon fiber reinforced geopolymer concrete. *Materials and structures*, 44(8), 1467-1475. <https://doi.org/10.1617/s11527-011-9711-3>
- Wang, Y., Zheng, T., Zheng, X., Liu, Y., Darkwa, J. and Zhou, G. (2020). Thermo-mechanical and moisture absorption properties of fly ash-based lightweight geopolymer concrete reinforced by polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, 251, 118960. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118960>
- Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C. and Meida, L.O. (2001). Carbon dioxide emissions from the global cement industry. *Annual Review of Energy and the Environment*, 26(1), 303-329. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.26.1.303>
- Yadollahi, M. M., Benli, A. and Demirboğa, R. (2015). The effects of silica modulus and aging on compressive strength of pumice-based geopolymer composites. *Construction and Building Materials*, 94, 767-774. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.052>
- Yunsheng, Z., Wei, S., Zongjin, L., Xiangming, Z. and Chungkong, C. (2008). Impact properties of geopolymer based extrudates incorporated with fly ash and PVA short fiber. *Construction and Building Materials*, 22(3), 370-383. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.08.006>
- Zhang, H., Wang, L., Zheng, K., Bakura, T. J. and Totakhil, P. G. (2018). Research on compressive impact dynamic behavior and constitutive model of polypropylene fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 187, 584-595. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.164>
- Zivica, V. and Bajza, A. (2002). Acidic attack of cement-based materials—a review Part 2. Factors of rate of acidic attack and protective measures. *Construction and building materials*, 16(4), 215-222. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00011-9)
- Zollo, R. F. (1997). Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development. *Cement and concrete composites*, 19(2), 107-122. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(96\)00046-7](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(96)00046-7)

Polymer fibers and effects on the properties of concrete

Polimer lifler ve beton özelliklerine etkileri

Cüneyt DOĞAN*^{1,a}, İsmail DEMİR^{1,b}

¹Department of Civil Engineering, Afyon Kocatepe University, 03200, Afyonkarahisar, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 02.11.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 23.02.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 01.03.2021

Abstract

Concrete is an indispensable material for today's construction industry and it is the most used building material globally. Strength and easy accessibility are important properties of concrete. Contrary to its high compressive strength, low tensile strength, brittle structure, and crack formation are problems that must be solved in order to build safe buildings. Today, using polymer fibers to prevent possible cracks on the concrete is the focus of many researchers. In the review article was presented a comprehensive literature review of polymer fibers include polypropylene (PP) polyethylene (PE) polyethylene terephthalate (PET), polyamide (PA), polyvinyl alcohol (PVA), and polyacrylonitrile (PAN) fiber properties, as well as the use of these polymer fibers in concrete. Our purposes in this study were to review, all aspects previous studies of fiber reinforced concrete were compared to determine concrete parameters such as shrinkage and crack formation, compression, splitting tensile and flexural strength, toughness, and modulus of elasticity. As a result, it has shown that the polymer fibers decrease the formation of cracks in concrete and increase durability, mechanical properties such as flexural strength and splitting tensile strength.

Keywords: Fiber reinforced concrete, Polyacrylonitrile fibers, Polyethylene terephthalate fibers, Polypropylene fibers, Polyvinyl alcohol fibers

Öz

Beton, günümüz inşaat endüstrisi için vazgeçilmez bir elemandır ve dünya çapında en çok kullanılan yapı malzemesidir. Dayanım ve kolay erişilebilirlik, betonun önemli özellikleridir. Yüksek basınç dayanımının aksine, düşük çekme dayanımı, kırılma yapısı ve çatlak oluşumu, güvenli binalar inşa etmek için çözülmesi gereken sorunlardır. Günümüzde betonda olası çatlakları önlemek için polimer lif kullanımı birçok araştırmacının odak noktasıdır. Bu derleme makale, polipropilen (PP) polietilen (PE) polietilen tereftalat (PET), poliamid (PA), polivinil alkol (PVA) ve poliakrilonitril (PAN) lif özelliklerinin yanı sıra bu polimer liflerin betonda kullanımını araştıran deneysel çalışmaların kapsamlı bir literatür taramasını sunmaktadır. Bu çalışmadaki amacımız, büzülme ve çatlak oluşumu, basınç, çekme ve eğilme dayanımı, tokluk ve elastisite modülü gibi beton parametrelerini belirlemek için fiber takviyeli beton ile ilgili önceki çalışmalarını tüm yönleriyle karşılaştırmaktır. Sonuç olarak, polimer liflerin betonda çatlak oluşumunu azalttığı ve dayanıklılığı, çekme dayanımı gibi mekanik özellikleri ve yarmada çekme dayanımını arttırdığı gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Lif takviyeli beton, Poliakrilonitril lif, Polietilen tereftalat lif, Polipropilen lif, Polivinil alkol lif

*^a Cüneyt DOĞAN; cdogan@usr.aku.edu.tr, Tel: (0553) 1906270, orcid.org/0000-0002-6662-8381

^b orcid.org/0000-0001-8493-0309

1. Introduction

Concrete is the most widely used building material due to its many known advantages such as low cost, availability, and wide applicability. However, concrete is a semi-brittle material and its low tensile strength, poor resistance to crack formation and propagation are the main disadvantages of conventional concrete (Afroughsabet and Ozbakkaloglu, 2015).

Cracks usually develop over time due to various reasons such as plastic shrinkage in fresh concrete, shrinkage in hardened concrete, and mechanical loads. Cracks increase the permeability of concrete, expose its microstructure to harmful substances such as moisture, chloride, sulfate, bromine, and cause corrosion in steel reinforcement (Ahmed and Mihashi, 2007; Köksal et al., 2008). Therefore, improving the strength and durability of hardened concrete is an important goal for researchers (Nili and Afroughsabet, 2012). The fracture mechanics are affected by factors such as shrinkage and thermal change as well as curing conditions and modulus of elasticity (Krauss et al., 1996).

Plastic shrinkage cracking is a major cause of poor performance in cementitious composites. In particular, fresh concrete on large surfaces such as bridge floors or pavement and parking garage floors is affected by evaporation at high temperatures, causing plastic shrinkage cracking before the concrete hardened (Kim et al., 2008; Pelisser et al., 2010). Crack formation occurs as a result of plastic shrinkage when the surface evaporation rate of concrete exceeds 1.0 kg/m²/h and it prevents concrete from reaching its design strength (ACI Committee 305, 2000; Myers et al., 2008).

In order to prevent crack formation, fibers can be used in cementitious composites which result in increasing tensile strength, ductility, toughness, and durability (Ezeldin and Balaguru, 1989). The effectiveness of fiber reinforcement depends on many factors, including matrix properties and fiber geometry, size, type, volume, and distribution (Ganesan et al., 2013). The use of fiber in concrete is an economical and effective way to achieve the desired strength and ductility of concrete (Bentur and Mindess, 2006).

The use of fiber-reinforced cement composites for various structural applications has become widespread all over the world. The flexural strength and toughness properties of these composites can be significantly improved by using

different fiber types. The performance of the composite mainly depends on fiber and matrix compatibility in terms of strength, elasticity, and load transfer related to surface adhesion properties. Steel, glass, carbon, and polymer-based fibers are widely used in many fiber-reinforced composite applications. Polymer-based fibers are versatile and their performance in composites is quite different from each other (Wu and Li, 1999; Li, 2001). Polymers are high molecular weight, solid and non-metallic compounds whose structure consists of small repeat units (Çavdar, 2013).

Considering its properties such as low cost, lightweight, and superior corrosion resistance, polymers with a wide range of uses such as automotive, consumer products, and household items have been used in concrete mixtures for 25 years (Fowler, 1999; Parenteau et al., 2012). PP fiber, PE fiber, PET fiber, PA fiber, PVA fiber, and PAN fiber are commonly used fibers in cementitious composites (Oh et al., 2005; Ochi et al., 2007). This paper disseminates information on the various properties of polymer fibers and effects of polymer fibers in concrete, which have been compiled by reviewing relevant previous studies.

2. Method

For the purpose of this review, research conducted on polymer fibers reinforced concrete was searched on Web of Science, Scopus, Springer Link, Taylor and Francis, and Google Scholar databases. Keywords are selected “PP fiber reinforced concrete”, “PE fiber reinforced concrete”, “PET fiber reinforced concrete”, “PA fiber reinforced concrete”, “PVA fiber reinforced concrete”, “PAN fiber reinforced concrete” for research. The major database searched was Web of Science and a total of 1060 documents found based on keywords search in 1975 to 2020 timespan. It has been thoroughly investigated the relevance of titles, keywords, and abstracts to the subject, and only studies related to polymer fibers reinforced concrete were selected. Experimental studies selected which carried out flexural, compressive, splitting tensile, chloride ion penetration, density, modulus of elasticity, and first crack strength tests for hardened concrete and slump test for fresh concrete in this literature review. All results were investigated for each study and these results were tabulated to compare more clearly.

3. Fiber reinforced concrete

Fiber-reinforced concrete (FRC) is defined as concrete made using aggregate, fiber, and

hydraulic cement (ACI Comite 544, 2002). In the use of fibers, it is aimed to increase tensile strength, durability, crack control, and hardness in cement composites. The performance of FRC varies according to the type of fiber used (Madhavi et al., 2015). Reinforcing fibers are expected to be durable, easily dispersible, and have good mechanical properties to be effective (Wang et al., 2000). The use of fiber in cement composites is at the forefront due to the control of cracks caused by shrinkage, which significantly affects strength and durability, (Naaman and Reinhardt, 2006; Kim et al., 2008; Foti, 2011).

Polymer fibers offer better performance than steel or glass fibers (Oh et al., 2007). Corrosion of steel fibers is a factor that reduces the durability of steel fiber reinforced concrete that will result spalling (Granju and Balouch, 2005). Polymer fibers are more resistant to alkaline reactions, rusting, chlorine, and salt, which offer a more advantageous material (Gao et al., 2010). Therefore, the use of polymer fibers as concrete reinforcement improves the mechanical properties of concrete as well as decreases the structural weight (Bolat et al., 2014). As monofilaments, multifilaments, or as collated fibrillated fiber bundles, polymer fibers can be produced; their properties are related to the degree of crystallinity (Martínez-Barrera et al., 2011). Multifilament polymer fibers are more effective than fibrillated bundle polymer fibers at spalling resistance. This is because the diameter of polymer fibers of multifilaments is smaller than that of polymer fibers of fibrillated bundles (Çavdar, 2013). On the other hand, monofilament fiber has a higher modulus of elasticity and stiffness for the rough shape (Hsie et al., 2008).

In concretes where two or more fibers are used as reinforcement, which is called hybrid FRC, fibers develop different reactions to crack formation (Pakravan et al., 2017). In the hybrid FRC, the properties of each fiber are provided at a synergy (Banthia and Soleimani, 2005). In well-designed hybrid reinforced composites, the harmony between fibers provides concrete with better mechanical properties than a single type of fiber reinforcement (Rashiddadash et al., 2014).

3.1. Polypropylene fibers

PP is one of the most widely used polymer in packaging, automotive, and consumer products, invented in 1954 (Busico and Cipullo, 2001; Parenteau et al., 2012). It is produced by polymerizing the propylene gas obtained from petroleum under high temperature and pressure

followed turned into the fiber by the melt spinning method (Madhavi et al., 2014). PP has a weak environmental stress cracking resistance and low impact resistance at low temperature is an issue that should be considered in various applications (Li et al., 2000).

PP fibers called the new generation that are produced on a global scale of 4 million tons annually (Madhavi et al., 2014). PP fibers have a density of 0.91 g/cm³, a tensile strength of 500 - 700 MPa, an modulus of elasticity of 2800 MPa, and an elongation at break 25% (Olgun, 2013). PP fibers have low strength and modulus of elasticity compared to steel fibers. On the other hand, PP fibers help prevent plastic cracks with their ductility, fineness, and dispersion properties (Bayasi and McIntyre, 2002). PP fibers with low modulus of elasticity are used in small proportions to control shrinkage in concrete because the modulus of elasticity of both concrete and PP fibers are close to each other during the first hours of hardening (Banthia and Gupta, 2006). PP fibers are not expected to increase the strength of concrete, but it is aimed to increase its ductility, durability, and impact resistance (Alhozaimy et al., 1996; Toutanji et al., 1998; Pakravan and Ozbakkaloglu, 2019).

PP is hydrophobic and inert as well as resistant to plastic shrinkage cracking and is very stable in the alkaline environment of concrete. However, it has disadvantages such as low modulus of elasticity, poor fire resistance, sensitivity to sunlight (Kurtz and Balaguru, 2000; Deng and Li, 2007).

It has been found that PP fibers increase the compressive strength of structural lightweight aggregate concrete (Libre et al., 2011; Yap et al., 2013), reduce workability (Patel et al., 2012; Thirumurugan and Sivakumar, 2013), bridge cracks in self-compacting concrete and prevents it from spreading (Qian and Stroeven, 2000; Gencil et al., 2011), improve parameters such as fracture toughness, fracture energy, effective crack length and crack width in FRC (Maalej and Li, 1995; Zhang and Li, 2013), and increase corrosion resistance in FRC (Sanjuán et al., 1996).

3.2. Polyethylene fibers

PE is an inert polymer that is resistant to pressure, radiation, and low temperatures. PE consists of carbon and hydrogen and depending on the production pressure, there are 2 types of PE as low-density polyethylene and high-density polyethylene (Zhong et al., 2018). PE fibers have a

tensile strength of 80-590 MPa and a modulus of elasticity of 5 GPa (Hughes and Hannant, 1982).

There is a great interest in using PE fiber in FRC, and up to 4% volume fraction can be used in concrete mixtures (Hughes, 1984; Santos et al., 2005). Increasing the volume fraction of PE fiber increases the maximum tensile strain at peak load, as well as increasing the PE fiber length increases the strain hardening (Ahmed and Maalej, 2009).

The use of 1% and higher volume fractions of PE fiber causes a decrease in the compressive strength and an increase in the flexural strength (Choi et al., 2014). Moreover, a significant increase occurs in ultimate load at the post-cracking (Said and Razak, 2015).

3.3. Polyethylene terephthalate fibers

PET is one of the most used polymer materials in the packaging of various products. Packages made of PET are lightweight, transparent, highly resistant to impacts, and non-toxic. All these features have made it important in the polymer market and global industry (Ávila Córdoba et al., 2013).

PET is widely used in fiber, particle, or flake forms to achieve superior properties in FRC (Pelisser et al., 2012). Fibers obtained from PET bottles can be used in the concrete matrix at a high rate of up to 3% of cement weight (Ochi et al., 2007). PET fibers have a density of 1.41 g/cm³ and the modulus of elasticity of 1700 MPa (Awaja and Pavel, 2005).

Today, PET wastes are disposed of by burying or burning. However, among the disposal methods, it is possible to use PET wastes that are converted to fiber form by PET recycling in FRC (Kim et al., 2010). PET fibers can be obtained from PET wastes by a simple cutting method without any chemical treatment (Foti, 2013).

3.4. Polyamide fibers

PA, known as nylon, is a polymer formed with a linear macromolecule polymer of the amide chain, and its commercial success is due to its outstanding properties and economically viability (Rouette, 2001; Fanguero et al., 2008). PA fibers have a tensile strength of 1000 MPa, a modulus of elasticity of 6 GPa, and an elongation at break of 10% (Ludirdja and Young, 1992).

PA fibers are moderately hydrophilic and exhibit an even distribution of cracks with load

application, as they absorb shock waves created in PA FRC (Canal et al., 2004; Kim et al., 2015). PA has a wide range of use as a concrete coating, repair mortar, shotcrete, and precast concrete elements with its easy mixing and applicability. Also, corrosion resistance, durability, high tensile strength compared to PP and PE fibers, PA fibers are very beneficial fibers (Khajuria and Balaguru, 1991). PA fiber reinforcement exhibits a significant increase in splitting tensile strength and flexural strength (Guler, 2018). PA fiber reinforcement in the prestressed concrete decreases the compressive strength and modulus of elasticity, while increasing the energy dissipation capacity (Choun and Park, 2015).

3.5. Polyvinyl alcohol fibers

PVA is one of the most common polymers with an annual production of 650000 tons on a global scale (Rong et al., 2009). PVA is produced by hydrolysis of vinyl acetate after polymerization and its crystallinity affects many mechanical properties as well as water resistance (Horikoshi et al., 2006; Tretinnikov and Zagorskaya, 2012). Also, PVA is the most common synthetic water-soluble polymer in production (Ramaraj, 2007).

PVA fibers have a density of 1.3 g/cm³, elongation at break of 6%, and a nominal strength of 1620 MPa (Zhang et al., 2014). PVA fiber is a notable with significant acid resistance and excellent cement adherence. PVA FRC can be used in bridge decks, beams, and pipes due to its tensile hardening capacity (Zhang and Yang, 2019).

PVA fiber reinforcement reduces the compressive strength of engineered cementitious concrete (Said et al., 2015), while providing great improvements in compressive strength of geopolymer concrete and foam concrete (Flores-Johnson and Li, 2012; Tanyildizi and Yonar, 2016).

3.6. Polyacrylonitrile fibers

PAN fiber is a copolymer consisting of the first monomer of acrylonitrile and the second monomer of vinyl acetate (Barkoula et al., 2008). PAN has a high melting point, relatively insoluble polymer with an interconnected carbon chain, is widely used in textile and carbon fiber production (Dalton et al., 1999; Schwartz, 2002). PAN fibers without carbonization have a tensile strength of 550 MPa, a modulus of elasticity of 9400 MPa, and an elongation at break of 12.7% (Fraczek-Szczypta et al., 2009). Considering its unique mechanical

properties, it is the strongest carbon fiber precursor (Cato and Edie, 2003).

Thanks to its mechanical properties and chemical resistance against acids, bases, and inorganic salts, it is very suitable for use in cement composite production., (Hahne et al., 1992). Even if used in low volume fractions in concrete, it provides significant benefits to the mechanical properties of concrete (Raivio and Sarvaranta, 1994).

Pan fiber reinforcement increases compressive strength, tensile strength, splitting tensile strength, impact energy and decreases permeability and average pore diameter (Deng et al., 2006; Fan, 2015; Chinchillas-Chinchillas et al., 2019).

4. Effects of polymer fibers on the properties of concrete

Polymer fibers have become increasingly popular in the construction industry as they combine the advantages of polymers such as high impact resistance and low weight with the high compressive strength and stiffness of concrete (Unterweger et al., 2014).

The adherence property of the polymer fiber is related to the critical fiber length. If the fiber length is shorter than the critical value, the fiber is pulled out of the concrete matrix by tensile force and the tensile strength of the composite is mainly determined by clamping. If the fiber length is longer than the critical value, the fiber breaks, and the strength of the composite is determined by the fiber tensile strength (Güllü et al., 2006). Good clamping provides effective stress transfer to the fiber in the cement matrix (Kawamata et al., 2001; Song et al., 2011).

In addition to reducing plastic shrinkage cracking, it has also been found that polymer fibers improve the mechanical properties of concrete. The polymer fibers can also be used to strengthen cement-based products under flexural/tensile loads. In this case, the fibers can be used in a cement matrix in high volume fractions of a minimum of 2% (Bentur and Mindess, 1990). At the same time, the use of polypropylene fibers at volumes as low as 0.1% has shown statistically significant improvements in toughness, impact resistance, and fatigue performance (Kurtz and Balaguru, 2000).

Low modulus of elasticity fibers such as PA and PP is effective in reducing cracking during plastic shrinkage, even at very low volume fractions. Its high performance in reducing cracking during

plastic shrinkage has been proven and its use is widely accepted (Balaguru and Shah, 1992). Properties of polymer fibers such as ductility, tensile strength, modulus of elasticity, and flexibility should be taken into attention in order to achieve the targeted effect (Johnston, 2001).

PP, PE, and PVA fibers are used in engineered cementitious composites, although the properties vary according to fiber type. Engineered cementitious composites produced with PVA fiber provide higher toughness and flexural strength than the produced with PP fiber (Yang and Li, 2010). However, due to the hydrophilic nature of PVA fibers, the workability decreases as the volume fraction increases (Felekoğlu et al., 2009; Ahmed and Mihashi, 2011).

5. Physical and mechanical properties of FRC

Physical and mechanical results of fiber reinforced concrete including flexural strength, compressive strength, splitting tensile strength, chloride ion penetration, density, modulus of elasticity, first crack strength and slump results were summarized in Table 1.

In accordance with the literature, it was found that polymer fibers do not have a significant effect on compressive strength. On the other hand, it was found that PET reinforcement increased the compressive strength of cement-lime mortar by 50% and PVA reinforcement increased the compressive strength of foam concrete by 85%, which is attributed to the increase of specimen integrity by the fiber. The greatest decrease in compressive strength was observed at 37% in PA reinforced mortar. It has been found that polymer fibers increase the splitting tensile strength of all types of FRC. The greatest increase in splitting tensile strength was obtained by 25% in the 80 mm length PET reinforced ordinary FRC. Similarly, flexural strength is generally increased between 30% and 50%. Moreover, polymer fibers have been found to reduce workability. PP reinforced high strength concrete slump decreased by 115 mm, PET reinforced ordinary FRC slump decreased by 50mm.

Another important result obtained is that polymer fibers significantly increase the impact energy of concrete. The impact energy of PAN reinforced ordinary FRC increased by 250%. To avoid specimens from deterioration by the mechanisms of matrix cracking, fiber/matrix interface debonding, fiber pull-out, and fiber rupture, the introduced PAN fibers absorbed impact energy.

The increase in impact energy, ultimate load at the post-cracking, deflection capacity, strain at the peak stress, resistance to cracking, deflection at first crack, and the decrease in chlorine ion

penetration, cracking area and permeability depth showed that polymer fibers prevent crack formation.

Table 1. Physical and mechanical results of fiber reinforced concrete

Type of fiber	Type of FRC	Fiber volume fraktion (min-max)	Fiber length (L) Fiber diameter (Ø)	Physical and mechanical properties	Ref.
PP	Tunnel Lining	0 – 0.8	L: 48mm Ø: 920 µm	No effect in the compressive strength 10% enhancement of the splitting tensile strength 17.5% enhancement of the fracture modulus 30% reduction in the chlorine ion penetration depth	Behfarnia and Behravan (2014)
PP	Mortar	0 – 1.2	L: 12 mm Ø: 18 µm	18.3% reduction in the compressive strength 4.2% reduction in the flexural strength 18% reduction in the modulus of dynamic elasticity	Çavdar (2014)
PP	High Strength Concrete	0 – 0.5	L: 12 mm Ø: 19 µm	9.2% reduction in the compressive strength 12.8% enhancement of the splitting tensile strength 115mm reduction on the slump	Fallah and Nematzadeh (2017)
PP	Lightweight Self-Compacting Concrete	0 – 0.3	L: 12 mm Ø: NA	No effect in the compressive strength 14.4% enhancement of the tensile strength 10.7% enhancement of the flexural strength 40% reduction in the viscosity	Mazaheripour et al. (2011)
PP	Natural Pozzolan Cement Concrete	0 – 0.13	L: 19 mm Ø: NA	8.5% reduction in the compressive strength 43% reduction in the chlorine ion penetration depth 65% reduction in the the cracking area no effect in the density	Flores-Medina et al. (2014)
PE	Lightweight Concrete	0 – 1.5	L: 30 mm Ø: 680 µm	30.7% reduction in the compressive strength 48% enhancement of the tensile strength 144.8% enhancement of the flexural strength	Choi et al. (2014)
PE	Engineered Cementitious Composite	1.0 – 2.5	L: 12 mm Ø: 38 µm	25% reduction in the compressive strength 79% enhancement of the ultimate load at the post-cracking	Said and Razak (2015)
PET	Ordinary FRC	0.5 – 1.0	L: 80 mm Ø: 200 µm	8% enhancement of the compressive strength 25% enhancement of the splitting tensile strength	Foti (2013)
PET	Mortar	0 – 2.0	L: 32 mm Ø: 14 µm	20% reduction in the first crack strength 17% enhancement of the ultimate flexural strength 0,49mm enhancement of the deflection capacity	da Silva Magalhães and Fernandes (2015)
PET	Ordinary FRC	0 – 0.3	L: 20 mm Ø: 25 µm	19,2% enhancement of the flexural strength 50mm reduction in the slump	Pelisser et al. (2012)
PET	Cement-Lime Mortar	0 – 1.5	L: 35 mm Ø: 1 mm	50% enhancement of the compressive strength 30% enhancement of the flexural strength	Pereira De Oliveira and CastroGomes (2011)
PA	Prestressed Concrete Containment Vessel	0 – 1.5	L: 30 mm Ø: 2.3 mm	11% reduction in the compressive strength 4% reduction in the modulus of elasticity 40% enhancement of maximum lateral displacement 200% enhancement of the energy dissipation capacity	Choun and Park (2015)
PA	Structural Lightweight	0 – 0.75	L: 12 mm Ø: 75 µm	No effect in the compressive strength 22.2% enhancement of the splitting tensile strength	Guler (2018)

	Aggregate Concrete			26.9% enhancement of the flexural strength	
PA	Ordinary FRC	0 – 1.0	L: 30 mm Ø: 500 µm	11% reduction in the compressive strength 53% enhancement of the flexural strength	Kim et al. (2015)
PA	Ordinary FRC	1.0 – 2.0	L: 30 mm Ø: 500 µm	no effect in the compressive strength 33.7% enhancement of the tensile strength 7.5% enhancement of the strain at the peak stress 96% enhancement of the fracture toughness	Kim et al. (2019)
PA	Mortar	0 – 2.0	L: 20 mm Ø: 0.35 µm	35% reduction in the compressive strength 41.6% enhancement of the flexural strength	Orasutthikul et al. (2017)
PA	Mortar	0 – 1.5	L: 12.7 mm Ø: 330 µm	37% reduction in the compressive strength 35% enhancement of the resistance to cracking	Spadea et al. (2015)
PVA	Foam Concrete	0 – 3.0	L: 8 mm Ø: 40 µm	85% enhancement of the compressive strength 22.5% enhancement of the modulus of elasticity	Flores-Johnson and Li (2012)
PVA	Ordinary FRC	0 – 0.5	L: 6 mm Ø: 14 µm	No effect in the compressive strength 32.5% enhancement of the flexural strength	Noushini et al. (2013)
PVA	Engineered Cementitious Composite	1.0 – 3.0	L: 12 mm Ø: 38 µm	20.2% reduction in the compressive strength 16.2% enhancement of ultimate load at post-cracking 0.563mm enhancement of the deflection at first crack 9.83mm enhancement of the deflection at failure	Said et al. (2015)
PVA	Geopolymer Concrete	0 – 2.0	L: NA Ø: NA	29% enhancement of the compressive strength 45% enhancement of the tensile strength	Tanyildizi and Yonar (2016)
PVA	Engineered Cementitious Composite	0 – 1.0	L: 12 mm Ø: 100 µm	50% enhancement of the flexural strength 200% enhancement of the flexural energy absorption capacity	Peyvandi et al. (2013)
PAN	Mortar	0 – 0.2	L: 15 µm Ø: 1.01 µm	15.9% enhancement of compressive strength 55.1% enhancement of the tensile strength	Chinchillas-Chinchillas et al. (2019)
PAN	Ordinary FRC	0 – 0.17	L: 12 mm Ø: 80 µm	13% enhancement of the splitting tensile strength 112% enhancement of the static tensile strength	Deng et al. (2006)
PAN	Ordinary FRC	0 – 2.0	L: 10 mm Ø: 20 µm	250% enhancement of the impact energy 18.4% reduction in the average pore diameter 19.8% reduction in the permeability depth	Fan (2015)

NA: Not applicable

6. Conclusion

According to the results of this study, the polymer fibers [I] reduce the shrinkage cracks in concrete, [II] increase the permeability resistance of the concrete, [III] increase the corrosion resistance of the concrete, [IV] increase the adherence at the interface of aggregate and cement matrix [V] increase flexural strength, [VI] and it contributes positively to the mechanical properties.

It has been found that PP fibers do not have a significant effect on the compressive strength of concrete but increase splitting tensile and flexural strength. It has also been determined to reduce slump, viscosity, and chlorine ion permeation. PE fibers reduce the compressive strength of concrete, increase tensile and flexural strengths as well as the ultimate load at the post-cracking. PET fibers reduce the workability of concrete as well as

provide improvement in compressive strength, increase splitting tensile strength, ultimate flexural strength.

It has been observed that PA fibers slightly reduce compressive strength and modulus of elasticity, increase maximum lateral displacement, splitting tensile and flexural strength. PVA fibers significantly increase the compressive strength of cellular concrete such as foam concrete. It has also been observed that the modulus of elasticity, flexural strength, and deflection at first crack increased. PAN fibers increase impact energy, splitting tensile and static tensile strength, and decrease average pore diameter and permeability depth.

Polymer fiber surface properties affect the adherence between fibers and the cement matrix. The use of polymer fiber with a rough surface is an

important criterion to prevent crack formation as it will provide better adherence.

Waste polymers are an important environmental problem. As in the case of PET, converting polymer waste into fibers in an easy and inexpensive way provides environmental and economic benefits. Recycled fiber production from waste polymer and determination of the usage conditions of these fibers in concrete will be an important research area.

References

- ACI Comite 544. (2002). State of the art report on fiber reinforced concrete reported (ACI 544.1R-96 Reapproved 2002). ACI Structural Journal.
- ACI Committee 305. (2000). ACI 305R-99 Hot weather concreting reported by ACI Committee 305. Journal of American Concrete Institute.
- Afrouhsabet, V. and Ozbakkaloglu, T. (2015). Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, 94, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.051>
- Ahmed, S. F.U. and Maalej, M. (2009). Tensile strain hardening behaviour of hybrid steel-polyethylene fibre reinforced cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 23(1), 96–106. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.01.009>
- Ahmed, S. F.U. and Mihashi, H. (2007). A review on durability properties of strain hardening fibre reinforced cementitious composites (SHFRCC). *Cement and Concrete Composites*, 29(5), 365–376. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.12.014>
- Ahmed, S. F.U. and Mihashi, H. (2011). Strain hardening behavior of lightweight hybrid polyvinyl alcohol (PVA) fiber reinforced cement composites. *Materials and Structures*, 44, 1179–1191. <https://doi.org/10.1617/s11527-010-9691-8>
- Alhozaimy, A. M., Soroushian, P. and Mirza, F. (1996). Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete and the effects of pozzolanic materials. *Cement and Concrete Composites*, 18(2), 85–92. [https://doi.org/10.1016/0958-9465\(95\)00003-8](https://doi.org/10.1016/0958-9465(95)00003-8)
- Ávila Córdoba, L., Martínez-Barrera, G., Barrera Díaz, C., Ureña Nuñez, F. and Loza Yañez, A. (2013). Effects on mechanical properties of recycled PET in cement-based composites. *International Journal of Polymer Science*, 2013(1), 1–7. <https://doi.org/10.1155/2013/763276>
- Awaja, F. and Pavel, D. (2005). Recycling of PET. *European Polymer Journal*, 41(7), 1453–1477. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2005.02.005>
- Balaguru, P. and Shah, S. P. (1992). Fiber reinforced cement composites. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Banthia, N. and Gupta, R. (2006). Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete. *Cement and Concrete Research*, 36(7), 1263–1267. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.01.010>
- Banthia, N. and Soleimani, S. M. (2005). Flexural response of hybrid fiber-reinforced cementitious composites. *ACI Materials Journal*. <https://doi.org/10.14359/14800>
- Barkoula, N. M., Alcock, B., Cabrera, N. O. and Peijs, T. (2008). Flame retardancy properties of intumescent ammonium poly(phosphate) and mineral filler magnesium hydroxide in combination with graphene. *Polymers and Polymer Composites*, 16(2), 101–113. <https://doi.org/10.1002/pc>
- Bayasi, Z. and McIntyre, M. (2002). Application of fibrillated polypropylene fibers for restraint of plastic shrinkage cracking in silica fume concrete. *ACI Materials Journal*. <https://doi.org/10.14359/12215>
- Behfarnia, K. and Behravan, A. (2014). Application of high performance polypropylene fibers in concrete lining of water tunnels. *Materials and Design*, 55, 274–279. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.09.075>
- Bentur, A. and Mindess, S. (1990). Fiber reinforced cementitious composites. London: Elsevier.
- Bentur, A. and Mindess, S. (2006). Fibre reinforced cementitious composites. *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. <https://doi.org/10.1201/9781482267747>
- Bolat, H., Şimşek, O., Çullu, M., Durmuş, G. and Can, Ö. (2014). The effects of macro synthetic fiber reinforcement use on physical and mechanical properties of concrete. *Composites Part B: Engineering*, 61, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.01.043>
- Busico, V. and Cipullo, R. (2001). Microstructure of polypropylene. *Progress in Polymer Science (Oxford)* 26(3), 443–533. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(00\)00046-0](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(00)00046-0)

- Canal, C., Molina, R., Bertran, E. and Erra, P. (2004). Wettability, ageing and recovery process of plasma-treated polyamide 6. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 18(9), 1077-1089. <https://doi.org/10.1163/1568561041257487>
- Cato, A. D. and Edie, D. D. (2003). Flow behavior of mesophase pitch. *Carbon*. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(03\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(03)00050-2)
- Çavdar, A. (2013). The effects of high temperature on mechanical properties of cementitious composites reinforced with polymeric fibers. *Composites Part B: Engineering*, 45(1), 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.09.033>
- Çavdar, A. (2014). Investigation of freeze-thaw effects on mechanical properties of fiber reinforced cement mortars. *Composites Part B: Engineering*, 58, 463–472. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.11.013>
- Chinchillas-Chinchillas, M. J., Orozco-Carmona, V. M., Gaxiola, A., Alvarado-Beltrán, C. G., Pellegrini-Cervantes, M. J., Baldenebro-López, F. J. and Castro-Beltrán, A. (2019). Evaluation of the mechanical properties, durability and drying shrinkage of the mortar reinforced with polyacrylonitrile microfibers. *Construction and Building Materials*, 210, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.178>
- Choi, J., Zi, G., Hino, S., Yamaguchi, K. and Kim, S. (2014). Influence of fiber reinforcement on strength and toughness of all-lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 69, 381–389. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.074>
- Choun, Y. S. and Park, J. (2015). Evaluation of seismic shear capacity of prestressed concrete containment vessels with fiber reinforcement. *Nuclear Engineering and Technology*, 47(6), 756–765. <https://doi.org/10.1016/j.net.2015.06.006>
- da Silva Magalhães, M. and Fernandes, M.S.V. (2015). Bending behaviour of recycled PET fiber reinforced cement-based composite. *International Journal of Engineering and Technology*, 7(4), 282–285. <https://doi.org/10.7763/ijet.2015.v7.805>
- Dalton, S., Heatley, F. and Budd, P. M. (1999). Thermal stabilization of polyacrylonitrile fibres. *Polymer*, 40(20), 5531–5543. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(98\)00778-2](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(98)00778-2)
- Deng, Z. C., Deng, H. L., Li, J. H. and Liu, G. D. (2006). Flexural fatigue behavior and performance characteristics of polyacrylonitrile fiber reinforced concrete. *Key Engineering Materials*, 302–303, 572–583. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.302-303.572>
- Deng, Z. and Li, J. (2007). Mechanical behaviors of concrete combined with steel and synthetic macro-fibers. *Computers and Concrete*. <https://doi.org/10.12989/cac.2007.4.3.207>
- Ezeldin, A. S. and Balaguru, P. N. (1989). Bond behavior of normal and high-strength fiber reinforced concrete. *ACI Materials Journal*.
- Fallah, S. and Nematzadeh, M. (2017). Mechanical properties and durability of high-strength concrete containing macro-polymeric and polypropylene fibers with nano-silica and silica fume. *Construction and Building Materials*, 132, 170–187. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.100>
- Fan, S. J. (2015). Mechanical and durability performance of polyacrylonitrile fiber reinforced concrete. *Materials Research*, 18(6), 1298–1303. <https://doi.org/10.1590/1516-1439.021915>
- Fangueiro, R., Pereira, C. G. and De Araújo, M. (2008). Applications of polyesters and polyamides in civil engineering. *Polyesters and Polyamides*, 542–592. <https://doi.org/10.1533/9781845694609.3.542>
- Felekoğlu, B., Tosun, K. and Baradan, B. (2009). Effects of fibre type and matrix structure on the mechanical performance of self-compacting micro-concrete composites. *Cement and Concrete Research*, 39(11), 1023–1032. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.07.007>
- Flores-Johnson, E. A. and Li, Q. M. (2012). Structural behaviour of composite sandwich panels with plain and fibre-reinforced foamed concrete cores and corrugated steel faces. *Composite Structures*, 94(5), 1555–1563. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2011.12.017>
- Flores-Medina, N., Barluenga, G. and Hernández-Olivares, F. (2014). Enhancement of durability of concrete composites containing natural pozzolans blended cement through the use of polypropylene fibers. *Composites Part B: Engineering*, 61, 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.01.052>
- Foti, D. (2011). Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1906–1915.

- <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.066>
- Foti, D. (2013). Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete. *Composite Structures*, 96, 396–404. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2012.09.019>
- Fowler, D. W. (1999). Polymers in concrete: A vision for the 21st century. *Cement and Concrete Composites*, 21, 449–452. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(99\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(99)00032-3)
- Fraczek-Szczypta, A., Bogun, M. and Blazewicz, S. (2009). Carbon fibers modified with carbon nanotubes. *Journal of Materials Science*, 44(17), 4721–4727. <https://doi.org/10.1007/s10853-009-3730-2>
- Ganesan, N., Indira, P. V. and Sabeena, M. V. (2013). Tension stiffening and cracking of hybrid fiber-reinforced concrete. *ACI Materials Journal*. <https://doi.org/10.14359/51686341>
- Gao, S., Tian, W., Wang, L., Chen, P., Wang, X. and Qiao, J. (2010). Comparison of the mechanics and durability of hybrid fiber reinforced concrete and frost resistant concrete in bridge deck pavement. *ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable - Proceedings of the 10th International Conference of Chinese Transportation Professionals*. [https://doi.org/10.1061/41127\(382\)311](https://doi.org/10.1061/41127(382)311)
- Gencel, O., Ozel, C., Brostow, W. and Martínez-Barrera, G. (2011). Mechanical properties of self-compacting concrete reinforced with polypropylene fibres. *Materials Research Innovations*, 15(3), 216–225. <https://doi.org/10.1179/143307511X13018917925900>
- Granju, J. L. and Balouch, S. U. (2005). Corrosion of steel fibre reinforced concrete from the cracks. *Cement and Concrete Research*, 35, 572–577. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.032>
- Guler, S. (2018). The effect of polyamide fibers on the strength and toughness properties of structural lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 173, 394–402. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.012>
- Güllü, A., Özdemir, A. and Özdemir, E. (2006). Experimental investigation of the effect of glass fibres on the mechanical properties of polypropylene (PP) and polyamide 6 (PA6) plastics. *Materials and Design* 27(4), 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2004.10.013>
- Hahne, H., Techen, H. and Worner, J.-D. (1992). Obtaining general qualification approval in Germany for polyacrylonitrile fibre concrete. *Proceedings of the International Symposium on Fibre Reinforced Cement and Concrete*, 690. E and FN Spon.
- Horikoshi, T., Ogawa, A., Saito, T. and Hoshiro, H. (2006). Properties of polyvinyl alcohol fiber as reinforcing materials for cementitious composites. *International RILEM Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites in Structural Applications*.
- Hsie, M., Tu, C. and Song, P.S. (2008). Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete. *Materials Science and Engineering: A*, 494, 153–157. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2008.05.037>
- Hughes, D. C. (1984). Stress transfer between fibrillated polyalkene films and cement matrices. *Composites*. [https://doi.org/10.1016/0010-4361\(84\)90728-6](https://doi.org/10.1016/0010-4361(84)90728-6)
- Hughes, D. C. and Hannant, D. J. (1982). Brittle matrices reinforced with polyalkene films of varying elastic moduli. *Journal of Materials Science*. <https://doi.org/10.1007/BF00591485>
- Johnston, C. (2001). *Fiber-Reinforced Cements and Concretes*. Amsterdam: Gordan and Breach.
- Kawamata, A., Mihashi, H., Kaneko, Y. and Kirikoshi, K. (2001). Controlling fracture toughness of matrix for ductile fiber reinforced cementitious composites. *Engineering Fracture Mechanics*, 69(2), 249–265. [https://doi.org/10.1016/S0013-7944\(01\)00088-1](https://doi.org/10.1016/S0013-7944(01)00088-1)
- Khajuria, A. and Balaguru, K.B. (1991). Long term durability of synthetic fibers in concrete. *ACI Symposium Publication*, 126. <https://doi.org/10.14359/2419>
- Kim, D. J., Naaman, A. E. and El-Tawil, S. (2008). Comparative flexural behavior of four fiber reinforced cementitious composites. *Cement and Concrete Composites*. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.08.002>
- Kim, H., Kim, G., Gucunski, N., Nam, J. and Jeon, J. (2015). Assessment of flexural toughness and impact resistance of bundle-type polyamide fiber-reinforced concrete. *Composites Part B: Engineering*, 78, 431–446. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.04.011>
- Kim, H., Kim, G., Lee, S., Son, M., Choe, G. and Nam, J. (2019). Strain rate effects on the compressive and tensile behavior of bundle-type polyamide

- fiber-reinforced cementitious composites. *Composites Part B: Engineering*, 160, 50–65. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.10.08>
- Kim, J. H. J., Park, C. G., Lee, S. W., Lee, S. W. and Won, J. P. (2008). Effects of the geometry of recycled PET fiber reinforcement on shrinkage cracking of cement-based composites. *Composites Part B: Engineering*, 39(3), 442–450. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2007.05.01>
- Kim, S. B., Yi, N. H., Kim, H. Y., Kim, J. H. J. and Song, Y. C. (2010). Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 32(3), 232–240. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.11.002>
- Köksal, F., Altun, F., Yiğit, I. and Şahin, Y. (2008). Combined effect of silica fume and steel fiber on the mechanical properties of high strength concretes. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.04.017>
- Krauss, P. D., Rogalla, E. A., National Research Council (U.S.). Transportation Research Board., American Association of State Highway and Transportation Officials., United States. Federal Highway Administration. and National Cooperative Highway Research Program. (1996). Transverse cracking in newly constructed bridge decks. In NCHRP Report.
- Kurtz, S. and Balaguru, P. (2000). Postcrack creep of polymeric fiber-reinforced concrete in flexure. *Cement and Concrete Research*, 30(2), 183–190. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00228-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00228-8)
- Li, J., Shanks, R. A. and Long, Y. (2000). Mechanical properties and morphology of polyethylene-polypropylene blends with controlled thermal history. *Journal of Applied Polymer Science*, 76(7), 1151–1164. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(20000516\)76:7<1151:AID-APP19>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(20000516)76:7<1151:AID-APP19>3.0.CO;2-H)
- Li, V. C. (2001). Large volume, high-performance applications of fibers in civil engineering. *Journal of Applied Polymer Science*. <https://doi.org/10.1002/app.2263>
- Libre, N. A., Shekarchi, M., Mahoutian, M. and Soroushian, P. (2011). Mechanical properties of hybrid fiber reinforced lightweight aggregate concrete made with natural pumice. *Construction and Building Materials*, 25(5), 2458-2464. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.058>
- Ludirdja, D. and Young, J. F. (1992). Synthetic Fiber Reinforcement for Concrete. USACERL Technical Report FM- 93/ 02.
- Maalej, M. and Li, V. C. (1995). Introduction of strain-hardening engineered cementitious composites in design of reinforced concrete flexural members for improved durability. *ACI Structural Journal*, 92(2), 167–176.
- Madhavi, T. C., Reddy, M., Kumar, P., Raju, S. and Mathur, D. (2015). Behaviour of polypropylene fiber reinforced concrete. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(9), 22627–22638.
- Madhavi, T., Raju, Ls. and Mathur, D. (2014). Polypropylene fiber reinforced concrete-A review. *Ijtae.Com*.
- Martínez-Barrera, G., Ureña-Nuñez, F., Gencel, O. and Brostow, W. (2011). Mechanical properties of polypropylene-fiber reinforced concrete after gamma irradiation. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42, 567-572. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.01.016>
- Mazaheripour, H., Ghanbarpour, S., Mirmoradi, S. H. and Hosseinpour, I. (2011). The effect of polypropylene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 25(1), 351–358. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.018>
- Myers, D., Kang, T. H. and Ramseyer, C. (2008). Early-age properties of polymer fiber reinforced concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2(1), 9–14.
- Naaman, A. E. and Reinhardt, H. W. (2006). Proposed classification of HPFRC composites based on their tensile response. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*. <https://doi.org/10.1617/s11527-006-9103-2>
- Nili, M. and Afrouhsabet, V. (2012). Property assessment of steel-fibre reinforced concrete made with silica fume. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.027>
- Noushini, A., Samali, B. and Vessalas, K. (2013). Effect of polyvinyl alcohol (PVA) fibre on dynamic and material properties of fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 49, 374–383. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.035>

- Ochi, T., Okubo, S. and Fukui, K. (2007). Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. *Cement and Concrete Composites*, 29(6), 448–455. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.02.002>
- Oh, B. H., Kim, J. C. and Choi, Y. C. (2007). Fracture behavior of concrete members reinforced with structural synthetic fibers. *Engineering Fracture Mechanics*, 74, 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2006.01.032>
- Oh, B. H., Park, D. G., Kim, J. C. and Choi, Y. C. (2005). Experimental and theoretical investigation on the postcracking inelastic behavior of synthetic fiber reinforced concrete beams. *Cement and Concrete Research*, 35(2), 384–392. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.07.019>
- Olgun, M. (2013). Effects of polypropylene fiber inclusion on the strength and volume change characteristics of cement-fly ash stabilized clay soil. *Geosynthetics International*, 20(4), 263–275. <https://doi.org/10.1680/gein.13.00016>
- Orasutthikul, S., Unno, D. and Yokota, H. (2017). Effectiveness of recycled nylon fiber from waste fishing net with respect to fiber reinforced mortar. *Construction and Building Materials*, 146, 594–602. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.134>
- Pakravan, H. R., Latifi, M. and Jamshidi, M. (2017). Hybrid short fiber reinforcement system in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 142, 280–294. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.059>
- Pakravan, H. R. and Ozbakkaloglu, T. (2019). Synthetic fibers for cementitious composites: A critical and in-depth review of recent advances. *Construction and Building Materials*, 207, 491–518. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.078>
- Parenteau, T., Ausias, G., Grohens, Y. and Pilvin, P. (2012). Structure, mechanical properties and modelling of polypropylene for different degrees of crystallinity. *Polymer*, 53(25), 5873–5884. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2012.09.053>
- Patel, P. A., Desai, A. K. and Desai, J. A. (2012). Evaluation of engineering properties for polypropylene fibre reinforced concrete. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 31, 42–45.
- Pelisser, F., Montedo, O. R. K., Gleize, P. J. P. and Roman, H. R. (2012). Mechanical properties of recycled PET fibers in concrete. *Materials Research*. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392012005000088>
- Pelisser, F., Neto, A. B. D. S. S., Rovere, H. L. La and Pinto, R. C. D. A. (2010). Effect of the addition of synthetic fibers to concrete thin slabs on plastic shrinkage cracking. *Construction and Building Materials*, 24(11), 2171–2176. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.041>
- Pereira De Oliveira, L. A. and Castro-Gomes, J. P. (2011). Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1712–1717. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.044>
- Peyvandi, A., Soroushian, P. and Jahangirnejad, S. (2013). Enhancement of the structural efficiency and performance of concrete pipes through fiber reinforcement. *Construction and Building Materials*, 45, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.084>
- Qian, C. and Stroeven, P. (2000). Fracture properties of concrete reinforced with steel-polypropylene hybrid fibres. *Cement and Concrete Composites*. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00033-0](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00033-0)
- Raivio, P. and Sarvaranta, L. (1994). Microstructure of fibre mortar composites under fire impact-effect of polypropylene and polyacrylonitrile fibres. *Cement and Concrete Research*. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90009-4](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)90009-4)
- Ramaraj, B. (2007). Crosslinked poly(vinyl alcohol) and starch composite films. II. Physicomechanical, thermal properties and swelling studies. *Journal of Applied Polymer Science*, 103(2), 909–916. <https://doi.org/10.1002/app.25237>
- Rashiddadash, P., Ramezani-pour, A. A. and Mahdikhani, M. (2014). Experimental investigation on flexural toughness of hybrid fiber reinforced concrete (HFRC) containing metakaolin and pumice. *Construction and Building Materials*, 51, 313–320. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.087>
- Rong, D., Usui, K., Morohoshi, T., Kato, N., Zhou, M. and Ikeda, T. (2009). Symbiotic degradation of polyvinyl alcohol by *Novosphingobium* sp. and *Xanthobacter flavus*. *Journal of Environmental Biotechnology*, 9(2), 131–134.

- Rouette, H. K. (2001). Encyclopedia of Textile Finishing. In Encyclopedia of Textile Finishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-85271-8>
- Said, S. H. and Razak, H. A. (2015). The effect of synthetic polyethylene fiber on the strain hardening behavior of engineered cementitious composite (ECC). *Materials and Design*, 86, 447–457. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.125>
- Said, S. H., Razak, H. A. and Othman, I. (2015). Flexural behavior of engineered cementitious composite (ECC) slabs with polyvinyl alcohol fibers. *Construction and Building Materials*, 75, 176–188. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.036>
- Sanjuán, M. A., Andrade, C. and Bentur, A. (1996). Effect of polypropylene fibre reinforced mortars on steel reinforcement corrosion induced by carbonation. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*. <https://doi.org/10.1007/bf02480677>
- Santos, A. G., Rincón, J. M., Romero, M. and Talero, R. (2005). Characterization of a polypropylene fibered cement composite using ESEM, FESEM and mechanical testing. *Construction and Building Materials*, 19 (2005), 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.07.023>
- Schwartz, M. (2002). Encyclopedia of Materials, Parts and Finishes. In Encyclopedia of Materials, Parts and Finishes. <https://doi.org/10.1201/9781420017168>
- Song, W., Gu, A., Liang, G. and Yuan, L. (2011). Effect of the surface roughness on interfacial properties of carbon fibers reinforced epoxy resin composites. *Applied Surface Science*, 257(9), 4069-74. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.11.177>
- Spadea, S., Farina, I., Carrafiello, A. and Fraternali, F. (2015). Recycled nylon fibers as cement mortar reinforcement. *Construction and Building Materials*, 80, 200–209. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.075>
- Tanyildizi, H. and Yonar, Y. (2016). Mechanical properties of geopolymer concrete containing polyvinyl alcohol fiber exposed to high temperature. *Construction and Building Materials*, 126, 381–387. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.001>
- Thirumurugan, S. and Sivakumar, A. (2013). Compressive strength index of crimped polypropylene fibres in high strength cementitious matrix. *World Applied Sciences Journal*. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.24.06.714>
- Toutanji, H., McNeil, S. and Bayasi, Z. (1998). Chloride permeability and impact resistance of polypropylene-fiber-reinforced silica fume concrete. *Cement and Concrete Research*. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00073-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00073-8)
- Tretinnikov, O. N. and Zagorskaya, S. A. (2012). Determination of the degree of crystallinity of poly(Vinyl alcohol) by ftir spectroscopy. *Journal of Applied Spectroscopy*, 79, 521–526. <https://doi.org/10.1007/s10812-012-9634-y>
- Unterweger, C., Brüggemann, O. and Fürst, C. (2014). Synthetic fibers and thermoplastic short-fiber-reinforced polymers: Properties and characterization. *Polymer Composites*, 35, 227–236. <https://doi.org/10.1002/pc.22654>
- Wang, Y., Wu, H. C. and Li, V. C. (2000). Concrete reinforcement with recycled fibers. *Journal of Materials in Civil Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2000\)12:4\(314\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2000)12:4(314))
- Wu, H. C. and Li, V. C. (1999). Fiber/cement interface tailoring with plasma treatment. *Cement and Concrete Composites*. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(98\)00053-5](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(98)00053-5)
- Yang, E. H. and Li, V. C. (2010). Strain-hardening fiber cement optimization and component tailoring by means of a micromechanical model. *Construction and Building Materials*, 24(2), 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.05.014>
- Yap, S. P., Alengaram, U. J. and Jumaat, M. Z. (2013). Enhancement of mechanical properties in polypropylene- and nylon-fibre reinforced oil palm shell concrete. *Materials and Design*, 49, 1034–1041. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.02.070>
- Zhang, C. and Yang, X. (2019). Bilinear elastoplastic constitutive model with polyvinyl alcohol content for strain-hardening cementitious composite. *Construction and Building Materials*, 209, 388–394. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.113>
- Zhang, P. and Li, Q. (2013). Fracture properties of polypropylene fiber reinforced concrete containing fly ash and silica fume. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 5(2), 665–670. <https://doi.org/10.19026/rjaset.5.5006>

Zhang, Q., Ranade, R. and Li, V. C. (2014). Feasibility study on fire-resistive engineered cementitious composites. *ACI Materials Journal*, 111(6), 651–660. <https://doi.org/10.14359/51686830>

Zhong, X., Zhao, X., Qian, Y. and Zou, Y. (2018). Polyethylene plastic production process. *Insight - Material Science*, 1(1), 1-8. <https://doi.org/10.18282/ims.v1i1.104>

Sağlık kurumlarının ve eczanelerin taleplerine yönelik ecza deposu yer seçimi problemi

Pharmaceutical warehouse site selection problem considering the demands of medical institutions and pharmacies

Aslıhan YILDIZ^{*1,a}, Selin SONER KARA^{1,b}, Coşkun ÖZKAN^{1,c}

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34349, İstanbul

• Geliş tarihi / Received: 17.01.2020

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 22.02.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 08.03.2021

Öz

Sağlık sektöründe ecza ürünlerinin üreticiden son tüketiciye ivedi bir şekilde temin edilmesi son derece önemlidir. Sektörün tedarik ağının karmaşık yapıda olması, ecza ürünlerinin dağıtımını çalışmalarına araştırmacıların ilgisinin artmasını sağlamıştır. Çalışmada ecza ürünlerinin dağıtımını içeren tedarik ağında, farklı yapılarıdaki talep noktaları için ecza deposu yeri seçim problemi ele alınmıştır. Bu bağlamda problem, kapasiteli tesis yeri seçim problemi olarak ele alınmış ve probleme yönelik yeni bir matematiksel model önerilmiştir. Hazırlanan model için uygulama bölgesi olarak İstanbul/Silivri ilçesi seçilmiştir. Çalışmanın devamında önerilen matematiksel model kullanılarak minimum mesafeyle dağıtım yapılması için açılması gereken ecza depolarının yerleri belirlenmiştir. Modelin sonuçlarını analiz etmek ve doğruluğunu göstermek amacıyla problemde kullanılan parametre değerleri değiştirilerek duyarlılık analizi yapılmıştır. Sonuçlar duyarlılık analizi ile birlikte sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Ecza deposu, Karışık tam sayılı programlama, Yer seçimi

Abstract

It is extremely important that pharmaceutical products are effectively supplied from the producer to the end consumer in the health sector, The complexity of the supply network of the sector has increased the interest of researchers in the distribution of pharmaceutical products. In this study, site selection problem for pharmaceutical warehouse for the demand points of different structures is discussed in the supply network, which includes the distribution of pharmaceutical products, In this context, the problem is considered as the capacited site selection problem and a novel mathematical model is proposed for the problem. İstanbul / Silivri district is chosen as the application area for the proposed mode. After, the sites of the pharmaceutical warehouses that should be opened in order to distribute with minimum distance were determined using the proposed mathematical model. Sensitivity analysis is performed by changing the parameter values used in the problem in order to analyze the results of the model and to demonstrate its accuracy. The results are presented with sensitivity analysis.

Keywords: Pharmaceutical warehouse, Mixed integer programming, Site selection

*a Aslıhan YILDIZ; aslihany@yildiz.edu.tr, Tel: (0212) 383 28 65, orcid.org/0000-0001-5288-7967

^b orcid.org/0000-0002-0894-0772

^c orcid.org/0000-0002-0318-8614

1. Giriş

Sağlık sektörü içerisinde ecza ürünlerinin tedarik edilmesi sürecinde, bu ürünlerin etkin bir şekilde talep noktalarına ulaştırılması kritik öneme sahiptir. Son yıllarda kamu ve özel şirketler ecza ürünlerinin tedarik zincirinin çevikliğini, esnekliğini ve güvenilirliğini artırmak için büyük efor sarf etmektedirler (Myerson vd., 2015). Bununla birlikte, değişen talep noktalarının tedarik zinciri stratejisi üzerinde doğrudan etkileri olabilir. Genellikle ecza ürünlerinin insanlara ulaşımı tek bir nokta yerine, farklı yapılarıdaki noktalarda gerçekleşebilmektedir. Bu durum dikkate alındığında, tedarik ağının etkin bir şekilde yönetilmesini gerektirmektedir. Ecza ürünlerinin tedariki sürecinde, herhangi bir aşamada meydana gelebilecek olan bir problem, insan ve toplum sağlığını olumsuz yönde etkileyecek ciddi bir risk oluşturabilir (Friemann ve Schönsleben, 2016). Ecza ürünleri tedarik zincirinin sağlık açısından önemli olması ve kompleks yapısından dolayı birçok çalışmaya konu olmuştur.

Papageorgiou vd. (2001) ilaç şirketleri için geliştirdikleri karma tam sayılı matematiksel modele ürün geliştirme, tanıtım stratejileri ve kapasite planlama gibi bileşenleri dahil ederek ecza ürünleri tedarik zincirini modellemişlerdir. Shah (2004) çalışmasında ecza ürünleri tedarik ağında optimizasyon yaparken dikkat edilmesi önemli konulara ve stratejilere değinmiştir. Pedroso ve Nakano (2009) tüketicilerin ilaç alırken doktor bilgisi dahilinde karar verdiğini gözeterek, ecza ürünleri tedarik ağında bilgi akışının nasıl olması gerektiği hakkında çalışmışlardır. Yu vd. (2010) Çin'deki ecza ürünleri tedarik zincirini inceledikleri çalışmalarında, zincirin performansını ve çarpıklıklarını belirlemişlerdir. Bazı reformlar önererek bunların politik sonuçlarını tartışmışlardır. Rosetti vd. (2011) biyofarmasötik ilaçların tedarik zinciri boyunca satın alma, dağıtım ve satılma şeklini değiştiren önemli bileşenleri tanımlamış ve incelemişlerdir. Masoumi vd. (2012) varyasyonel eşitsizlik teorisi kullanarak ecza ürünlerinin tedarik zincirleri için genelleştirilmiş bir oligopol modeli önermişlerdir. Uthayakumar ve Priyan (2013) çoklu ecza ürününün değişken teslim süresini, izin verilen ödeme gecikmelerini, alan kullanılabilirliğine ilişkin kısıtlamaları ve müşteri hizmet düzeyini dikkate alan ve bir ilaç şirketi ve bir hastane tedarik zincirini içeren tedarik zinciri için envanter modeli önermişlerdir. Weraikat vd. (2016) gerçek ecza ürünleri tedarik zincirinde tersine lojistik için etkin bir koordinasyon modeli önermişlerdir. Nematollahi vd. (2017) iki aşamalı ecza ürünleri

tedarik zincirlerini incelemişlerdir. Üyelerin iş birlikleri üzerine kurguladıkları modelde tedarik zincirindeki doluluk oranını maksimize etmeyi amaçlamışlardır. Zahiri vd. (2018) ecza ürünlerinin bozulabilir olmasını, ikame edilebilirliğini ve toplu alımdaki indirimleri dikkate alan, belirsizlik içeren bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Chen vd. (2019) çalışmalarında tavan fiyat uygulamasının ecza ürünleri üreticisi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Haial vd. (2019) üç aşamalı olarak ele aldıkları ecza ürünleri tedarik zincirinde, en uygun ağ yapısını çok kriterli karar verme yöntemleri ile belirlemişlerdir. Ji (2019) hastanelerden ve eczanelerden hastaya ilaç dağıtım problemini ele almıştır. Zaman pencereli araç rotalama problemi olarak modellemiş ve en uygun rotayı belirlemiştir. Bahadori-Chinibelagh vd. (2019) çok sayıda ecza deposunun bulunduğu bir ilaç dağıtım problemini çok depolu araç rotalama problemi olarak ele almış ve geliştirdikleri algoritmaları kullanarak problemi çözmüşlerdir. Lubis ve Mawengkang (2020) ecza deposundan hastaların evlerine ilaç dağıtım problemini, farklı kapasiteli araç rotalama problemi olarak modellemişlerdir. Redi vd. (2020) kapasiteli araç rotalama problemi olarak modelledikleri ilaç dağıtım problemini benzetimli tavlama algoritması kullanarak çözmüşlerdir.

Yapılan çalışmada hastanelere, sağlık ocaklarına ve eczanelere ilaç dağıtımına yönelik ecza deposu yeri seçim problemi ele alınmıştır. Literatür incelendiğinde, ecza ürünlerinin talep noktalarına hızlı ve etkin bir şekilde dağıtımını amaçlayan en uygun depo yeri seçimi probleminin yeni bir çalışma alanı olduğu söylenebilir. Hızlı bozulabilen ve duyulan ihtiyacın önemi göz önüne alındığında, ilaç dağıtımının efektif olarak planlanması çok önemlidir. Hastaların ilaç tedariki için en sık başvurduğu kurumlar olan hastaneler, sağlık ocakları ve eczaneler dikkate alınarak; yapılan bu çalışma kapsamında ecza deposundan sağlanan ilaçların dağıtımını gözetilerek belirlenen noktalar arasından ecza deposu için en uygun noktanın belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma şu şekilde düzenlenmiştir: İkinci bölümde, geleneksel tesis yeri seçim problemi ve kapasiteli tesis yeri seçim problemi özetlenmiştir. Daha sonra çalışma kapsamında ele alınan problem için önerilen matematiksel model ayrıntılarıyla verilmiştir. Üçüncü bölümde İstanbul/Silivri ilçesi için yapılan uygulama açıklanmıştır. Dördüncü bölümde duyarlılık analizi yardımıyla matematiksel modelin etkinliği test edilmiştir. Son bölümde ise, sonuçlara ve gelecekteki çalışmalara yönelik bilgiler verilmiştir.

2. Tesis yeri seçim problemi

Belirli bir bölgede müşterilere ürün dağıtmak veya belirli hizmetleri sunmak için aynı türde birden fazla tesis bulunabilmektedir. Bu gibi yapılarda, karar vericiler, müşteriye hızlı ulaşmayı sağlamanın yanı sıra, maliyetleri de dikkate alarak tesis konumlarını seçmelidir. Bu bağlamda, tesis yeri seçim problemi, ilgili temel sorunları dikkate alan kombinatoriyal bir problemdir.

Her tesis tarafından sağlanan ürün / hizmet miktarına ilişkin kapasitelerin varlığına bağlı olarak iki tür tesis yeri seçim problemi vardır. Tesis kapasitesinin dahil edildiği, sınırlı miktarda ürün / hizmet sağlama durumunun olduğu tesis yeri problemlerine kapasiteli tesis yeri problemi denir. Öte yandan, her müşteri en uygun gibi görünen (genellikle en yakın) herhangi bir tesisten hizmet alabiliyorsa, yani her tesis sınırsız miktarda hizmet sunma kapasitesine sahipse, bu tip problemlere kapasitesiz tesis yeri seçim problemi denir. Her iki tip problem için uygun çözümlerin sayısı, örneklem büyüklüğü ile birlikte üstel olarak artar. Gerçek hayat problemlerinde çoğu zaman büyük boyutlu problemlere çözüm getirme durumu olduğundan, en uygun çözümleri bulmak oldukça zordur. Yukarıda bahsedilen iki tip tesis yeri seçim probleminin de NP-Zor olduğu bilinmektedir. Bu tip problemlere yönelik en uygun çözümleri verimli bir şekilde bulmak için algoritmalar yetersiz kalmaktadır (Balinski, 1965; Wong et al., 2010). Literatürde çok farklı şekillerde ele alınan (Arthur vd., 1997; Haight vd., 2000; Li vd., 2009; Jelokhani-Niaraki ve Malczewski, 2015; Koc vd., 2019) tesis yeri seçimi problemlerinde, farklı çözüm yolları (Oufella ve Hamdadou, 2019; Yap vd. 2019; Wu vd., 2019; Lin vd., 2020) önerilmiştir.

2.1. Kapasiteli tesis yeri seçim problemi

Yapılan bu çalışmada kapasiteli tesis yeri seçim probleminin bir uzantısına odaklanılmıştır. Geleneksel kapasiteli tesis yeri seçim probleminde, problem $G = (N, A)$ olarak ifade edilen yönsüz bir graf üzerinde tanımlanmıştır, burada N ile graf üzerinde yer alan düğümler kümesi, A ile de düğümler arasındaki bağlantılar kümesi temsil edilmiştir. Her bir müşteri aday tesis olarak ifade edilmiş ve düğümler arasındaki bağlantılar $A = \{(i, j): \forall i, j \in N, i \neq j\}$ kümesinde tanımlanmıştır. Mevcut durumda ürünlerin müşterilere dağıtımında, kullanılacak araçlar için izlenecek yolların açık olduğu varsayılmıştır. Araçların düğümler arasında kat ettiği mesafenin (d_{ij}) negatif olamayacağı ve $d_{ij} = d_{ji}$ olduğu varsayılmıştır. Her

bir müşterinin talebi vardır. Açılacak tesisler sınırlı kapasiteye sahiptir. Tesisler kapasitesini aşmayacak şekilde hizmet verebilmektedir. Aday düğümler içinden tesis açılacak olan düğümlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Her bir tesis için tesis açma (kurulum) maliyeti F_i vardır. Tesis açma maliyetine ek olarak tesis i den müşteri j ye mesafeyle doğru orantılı ürün taşıma maliyeti d_{ij} vardır. Her müşteri yalnızca bir tesise atanmalıdır. Açılan tesise atanacak müşteri sayısında bir kısıtlama yoktur. Açılan tesis, kapasitesini aşmayacak şekilde sınırsız sayıda müşteriye hizmet verebilir. Bu bağlamda, kapasiteli tesis yeri seçim probleminde, tesis açma ve taşıma maliyetlerinin toplamının en küçüklenmesi amaçlanmaktadır. Problemin matematiksel modeli aşağıda verilmiştir.

Setler

I Tüm müşteri noktaları

Parametreler

d_{ij} Noktalar arasındaki geçiş mesafeleri ($i, j \in I$)

F_i Tesis açma maliyeti ($i \in I$)

t_i Talep ($i \in I$)

C_i Kapasite ($i \in I$)

Karar Değişkenleri

$Y_i \begin{cases} 1, & \text{eğer nokta } i \text{ 'ye tesis açılırsa;} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$

$X_{ij} \begin{cases} 1, & \text{eğer nokta } j, \text{ nokta } i \text{ 'den hizmet alırsa;} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$

Formülasyon

$$\min \sum_i F_i Y_i + \sum_i \sum_j X_{ij} d_{ij} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_i X_{ij} = 1 \quad (\forall j \in I) \quad (2)$$

$$\sum_i t_i X_{ij} \leq C_j Y_j \quad (\forall j \in I) \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq Y_i \quad (\forall i, j \in I) \quad (4)$$

$$Y_i, X_{ij} \in \{0,1\} \quad (\forall i, j \in I) \quad (5)$$

Amaç fonksiyonu (1) olarak, tesis açma ($\sum_i F_i Y_i$) ve taşıma ($\sum_i \sum_j X_{ij} d_{ij}$) maliyet bileşenlerinden oluşan toplam maliyetin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Kısıt (2) ile her bir müşterinin yalnızca bir tesisten hizmet alması sağlanmaktadır. Kısıt (3) ile açılan tesisten, tesisin kapasitesini

aşmayacak şekilde hizmet verilmesi sağlanmıştır. Kısıt (4) açılmayan tesislerden hizmet verilmesini engellemektedir. Son olarak Kısıt (5) ile karar değişkenlerinin 0 ya da 1 değerini alması sağlanmaktadır.

2.2. Sağlık kurumlarının ve eczanelerin taleplerine yönelik ecza deposu yer seçimi problemi

Sağlık sektörü içerisinde ecza ürünlerinin tedarik edilmesi sürecinde, bu ürünlerin etkin bir şekilde talep noktalarına ulaştırılması kritik öneme sahiptir. Dolayısıyla ecza ürünleri gibi yaşamsal etkiye sahip acil ihtiyaçların dağıtım sürecinin iyi bir şekilde yönetilmesi gerekir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında bu ürünlerin ecza depolarından, hastanelere, sağlık ocaklarına ve eczanelere dağıtılması sürecinde en uygun depo yeri seçimi problemi ele alınmıştır.

Ele alınan problemde, ürünlerin talep noktalarına ulaştırılma süresinin minimize edilmesi

amaçlanmıştır. Problem $G = (N, A)$ olarak ifade edilen yönsüz bir graf üzerinde tanımlanmıştır, burada N ile graf üzerinde yer alan noktalar kümesi, A ile de noktalar arasındaki bağlantılar kümesi temsil edilmiştir. Belirlenen noktalar; aday depo olarak ifade edilmiş ve noktalar arasındaki bağlantılar $A = \{(i, j): \forall i, j \in N, i \neq j\}$ kümesinde tanımlanmıştır. Mevcut durumda ürünlerin dağıtımında kullanılacak araçlar için izlenecek yolların açık olduğu varsayılmıştır. Araçların noktalar arası geçiş süresinin (t_{ij}) negatif olamayacağı ve $t_{ij} = t_{ji}$ olduğu varsayılmıştır. Her bir talep noktasının ürün ihtiyacı D_i vardır. Çalışma kapsamında önerilen matematiksel model aşağıda verilmiştir.

Setler

I	Aday noktalar
H	Hastaneler
S	Sağlık ocakları
E	Eczaneler

Parametreler

G_h^1	Hastanelerin talebi ($h \in H$)
G_s^2	Sağlık ocaklarının talebi ($s \in S$)
G_e^3	Eczanelerin talebi ($e \in E$)
t_{ih}^1	Aday noktalardan hastanelere geçiş süreleri ($i \in I, h \in H$)
t_{is}^2	Aday noktalardan sağlık ocaklarına geçiş süreleri ($i \in I, s \in S$)
t_{ie}^3	Aday noktalardan eczanelere geçiş süreleri ($i \in I, e \in E$)
d_{ih}^1	Aday noktalardan hastanelere mesafe ($i \in I, h \in H$)
d_{is}^2	Aday noktalardan sağlık ocaklarına mesafe ($i \in I, s \in S$)
d_{ie}^3	Aday noktalardan eczanelere mesafe ($i \in I, e \in E$)
C_i	Aday depo kapasitesi ($i \in I$)
FC_i	Aday depo açma maliyeti ($i \in I$)
PI	Açılacak tesis sayısı
N_i^1	Depodan hizmet verilebilecek maksimum hastane sayısı ($i \in I$)
N_i^2	Depodan hizmet verilebilecek maksimum sağlık ocağı sayısı ($i \in I$)
N_i^3	Depodan hizmet verilebilecek maksimum eczane sayısı ($i \in I$)
N_i^4	Depodan hizmet verilebilecek maksimum müşteri sayısı ($i \in I$)
B	Kullanılabilir bütçe
\max^1	Hastanelere en geç varılabilecek süre
\max^2	Sağlık ocaklarına en geç varılabilecek süre
\max^3	Eczanelere en geç varılabilecek süre
M	Yeterince büyük sayı

Karar Değişkenleri

Y_i	$\begin{cases} 1, & \text{eğer } i\text{'ye depo açılırsa;} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$
Z_{ih}	$\begin{cases} 1, & \text{eğer aday } i\text{'den hastane } h\text{'ye hizmet verilir;} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$
X_{is}	$\begin{cases} 1, & \text{eğer aday } i\text{'den sağlık ocağı } s\text{'ye hizmet verilir;} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$
W_{ie}	$\begin{cases} 1, & \text{eğer aday } i\text{'den eczane } e\text{'ye hizmet verilir;} \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$

Formülasyon

$$\min \sum_i \sum_h d_{ih}^1 Z_{ih} + \sum_i \sum_s d_{is}^2 X_{is} + \sum_i \sum_e d_{ie}^3 W_{ie} \quad (6)$$

s.t.

$$\sum_i Y_i = PI \quad (7)$$

$$\sum_i Y_i FC_i \leq B \quad (8)$$

$$\sum_i Z_{ih} = 1 \quad (\forall h \in H) \quad (9a)$$

$$\sum_i X_{is} = 1 \quad (\forall s \in S) \quad (9b)$$

$$\sum_i W_{ie} = 1 \quad (\forall e \in E) \quad (9c)$$

$$\sum_i t_{ih}^1 Z_{ih} \leq \max^1 \quad (\forall h \in H) \quad (10a)$$

$$\sum_i t_{is}^2 X_{is} \leq \max^2 \quad (\forall s \in S) \quad (10b)$$

$$\sum_i t_{ie}^3 W_{ie} \leq \max^3 \quad (\forall e \in E) \quad (10c)$$

$$Z_{ih} \leq Y_i \quad (\forall i \in I, \forall h \in H) \quad (11a)$$

$$X_{is} \leq Y_i \quad (\forall i \in I, \forall s \in S) \quad (11b)$$

$$W_{ie} \leq Y_i \quad (\forall i \in I, \forall e \in E) \quad (11c)$$

$$\sum_h G_h^1 Z_{ih} + \sum_s G_h^2 X_{is} + \sum_e G_h^3 W_{ie} \leq C_i Y_i \quad (\forall i \in I) \quad (12)$$

$$\sum_h Z_{ih} \leq N_i^1 \quad (\forall i \in I) \quad (13a)$$

$$\sum_s X_{is} \leq N_i^2 \quad (\forall i \in I) \quad (13b)$$

$$\sum_e W_{ie} \leq N_i^3 \quad (\forall i \in I) \quad (13c)$$

$$\sum_h Z_{ih} + \sum_s X_{is} + \sum_e W_{ie} \leq N_i^4 \quad (\forall i \in I) \quad (14)$$

$$Y_i, Z_{ih}, X_{is}, W_{ie} \in \{0,1\} \quad (\forall i \in I, \forall h \in H, \forall s \in S, \forall e \in E) \quad (15)$$

Ecza ürünlerinin hastane, sağlık ocakları ve eczanelere dağıtımına yönelik ele alınan ecza deposu yeri seçim problemi için önerilen matematiksel modelde kullanılan kısıtlar aşağıda açıklanmıştır.

(6) Ürünlerin toplam ulaştırılma mesafesini minimize eder.

(7) Belirlenmiş depo sayısı kadar depo açılabilir.

(8) Bütçe aşılamaz.

(9) Sırasıyla hastane, sağlık ocağı ve eczanelerin talepleri yalnızca bir noktadan karşılanmalıdır.

(10) Belirlenen en geç varış süresinden önce, sırasıyla hastane, sağlık ocağı ve eczanelerin talepleri karşılanmalıdır.

(11) Açılmayan depodan sırasıyla hastane, sağlık ocağı ve eczanelere hizmet verilemez.

(12) Aday depolar kapasitesinden fazla hizmet veremez.

(13) Önceden belirlenen hizmet miktarı kadar, aday depolardan hastane, sağlık ocağı ve eczaneye hizmet verilebilir.

(14) Aday depodan en fazla belirtilen sayı kadar kurumlara hizmet verilebilir.

(15) Karar değişkenleri yalnızca 0 ya da 1 değerini alabilir.

3. Uygulama

Çalışmada ele alınan hastane, sağlık ocakları ve eczanelerin ecza ürünlerine olan ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik depo yeri seçim problemi için, İstanbul / Silivri ilçesi seçilmiştir. Bölgenin demografik yapısı, ulaşım ağının zayıf olması ve

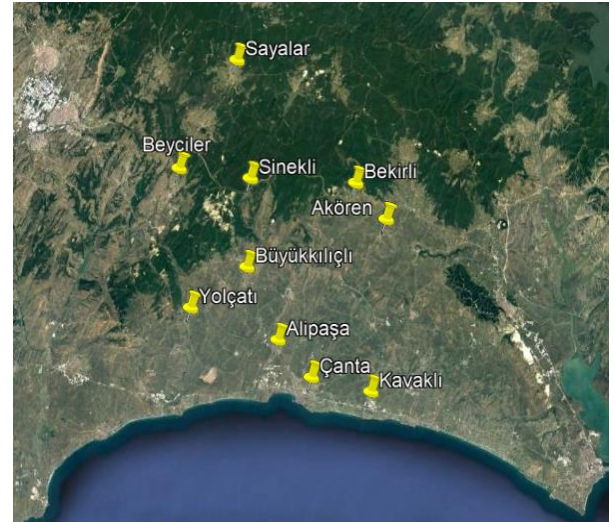
yerleşimin görece geniş bir alana yayılması, ilçenin seçilmesinde önemli rol oynamıştır.

3.1. Verilerin belirlenmesi

Çalışmada talep noktalarına minimum mesafeyle ürün dağıtımını sağlayacak en uygun ecza depo yeri seçimi amaçlanmıştır. Bu amaç dahilinde problemin çözümüne yönelik gereksinim duyulan veriler belirlenmiştir.

3.1.1. Aday depo yerlerinin belirlenmesi

İlçenin farklı bölgelerinden on farklı nokta, ecza depoları için aday noktalar olarak belirlenmiştir. Dört adet deponun kurulacağı problemde, belirlenen aday noktalar Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Aday depo yerleri

Aday noktaların belirlenmesinin ardından, bölgedeki arsa ve emlak fiyatları dikkate alınarak her bir aday noktanın yatırım maliyeti belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen on noktanın alanları dikkate alınarak kapasiteleri belirlenmiştir. Aday noktaların konumları gözetilerek her bir aday deponun hizmet verebileceği en fazla müşteri

sayısı belirlenmiş ve Tablo 1’de verilmiştir. Çalışmada depo açma maliyeti için toplam yatırım bütçesi 1.200.000 TL olarak belirlenmiştir. Müşteri sayısı belirlenirken, bölgede yer alan eczane sayıları ve hastanelerin sayısı ile birlikte kapasiteleri dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Aday nokta verileri

Aday	Depo	Yatırım Maliyeti (TL)	Kapasite (Koli)	Müşteri Sayısı
Aday-1:	Yolçatı	350000	370	25
Aday-2:	Beyciler	225000	220	30
Aday-3:	Bekirli	120000	150	30
Aday-4:	Sayalar	98000	480	30
Aday-5:	Sinekli	250000	280	40
Aday-6:	Akören	190000	500	20
Aday-7:	Büyükklıçlı	48000	150	30
Aday-8:	Kavaklı	750000	400	40
Aday-9:	Alipaşa	139000	200	30
Aday-10:	Çanta	440000	120	15

Ele alınan problemde açılacak ecza depolarının hizmet verebileceği en fazla kurum sayılarının belirli olduğu varsayılmıştır. Bu bağlamda açılacak ecza depolarının en fazla 3 hastaneye, 10 sağlık ocağına ve 20 eczaneye hizmet verebileceği varsayılmıştır.

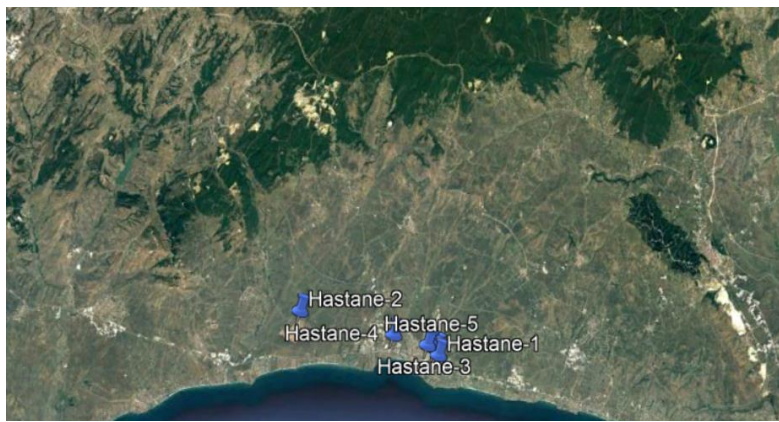
3.1.2. Talep noktalarının belirlenmesi

Problemde farklı yapılardaki talep noktaları belirlenirken, ilçede yer alan devlet / özel hastaneler, sağlık ocakları ve eczaneler dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda toplam 5 hastane, 20

sağlık ocağı ve 47 eczane çalışmaya entegre edilmiştir.

3.1.2.1. Hastaneler

Ecza ürünlerinin en sık kullanıldığı kurumların başında hastaneler gelmektedir. Hastayla birebir temas halinde olunan hastanelerde, ilaç tedarikinin hızlı ve etkin bir şekilde yapılması çok önemlidir. Bu bağlamda çalışma kapsamında ilçede bulunan beş hastane dikkate alınmıştır. Ecza depolarından hastanelere ilaç tedarikini gerçekleştirecek en uygun depo yeri belirlenmeye çalışılmıştır. Hastanelerin konumları Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. İlçedeki hastane konumları

Hastane konumlarının belirlenmesinin ardından, aday noktalardan hastanelere olan mesafeleri ve

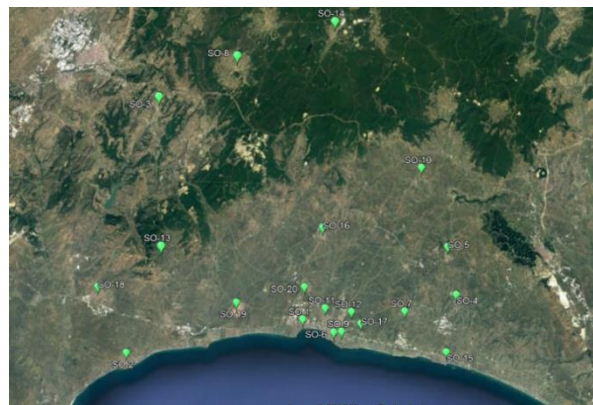
geçiş süreleri hesaplanmış ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Aday depolar - hastaneler arasındaki geçiş süreleri ve mesafeler

	Geçiş Süreleri (dk)					Mesafeler (km)				
	Hastane 1	Hastane 2	Hastane 3	Hastane 4	Hastane 5	Hastane 1	Hastane 2	Hastane 3	Hastane 4	Hastane 5
Aday 1	23	15	21	19	21	23	7	16	15	17
Aday 2	29	22	28	28	28	33	23	31	32	31
Aday 3	26	35	25	24	25	23	31	21	22	21
Aday 4	37	34	35	33	35	35	31	31	30	31
Aday 5	28	25	26	24	26	27	23	23	22	23
Aday 6	23	26	21	20	21	19	27	17	18	17
Aday 7	18	15	17	14	17	16	12	12	11	12
Aday 8	6	17	6	8	6	6	17	6	9	7
Aday 9	9	12	9	6	9	8	10	5	3	5
Aday 10	3	16	5	7	5	1	11	1	3	1

Aday noktalardan hastanelere olan geçiş süreleri 3 dk ile 37 dk arasında değişirken, aday noktalar ile hastaneler arasındaki mesafeler 1 km ile 35 km arasında değişmektedir. Örneğin Aday-1'den Hastane-1'e olan 23 km'lik mesafe 23 dk'da gidilebilirken, Aday-1'den Hastane 2'ye olan 7 km'lik mesafe 15 dk sürmektedir. Bunun nedeni olarak ilçenin arazi ve yol yapısı gösterilebilir. Hastanelerin ecza ürünlerine olan talebi olarak yatak sayıları dikkate alınmıştır. Bu bağlamda, hastanelerin ecza ürünlerine olan talepleri koli bazında Tablo 3'teki gibidir.

Tablo 3 incelendiğinde, hastanelerin ecza ürünlerine olan talebi 30 koli ile 150 koli arasında değişmektedir. Hastaların aciliyet durumuna göre ihtiyaç duyulan ecza ürünlerinin hastanelere olabildiğince hızlı ulaştırılması gerekmektedir. Bu doğrultuda ele alınan problem için hastanelere en geç 20 dk'da ulaşılması gerektiği varsayılmıştır.

**Şekil 3.** İlçedeki sağlık ocakları konumları

Şekil 3'e bakıldığında, hemen hemen her bölgede yer alan sağlık ocaklarının ilçenin merkezinde daha fazla olduğu görülmektedir. Oldukça geniş bir alana yayılan sağlık ocaklarının aday noktalarla

Tablo 3. Hastane talepleri

Hastane	Talep (Koli)
Hastane-1	51
Hastane-2	30
Hastane-3	150
Hastane-4	115
Hastane-5	110

3.1.2.2. Sağlık ocakları

İnsanların temel sağlık hizmetlerinden kolaylıkla yararlanabildiği sağlık ocaklarında, ecza ürünlerine olan talep oldukça yüksektir. Bu bağlamda ilçede bulunan 20 sağlık ocağı talep noktası olarak çalışmaya entegre edilmiştir. Sağlık ocaklarının konumları Şekil 3'te verilmiştir.

arasındaki geçiş süreleri Tablo 4'te gösterilirken, bu noktalar arasındaki mesafeler ise Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. Aday noktalar-sağlık ocakları arası geçiş süreleri (dk)

Sağlık Ocağı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Aday-1	19	15	16	35	31	23	28	25	25	29	17	22	14	28	31	15	25	19	17	14
Aday-2	26	26	13	38	37	29	35	10	32	36	25	27	24	20	33	22	32	25	24	24
Aday-3	23	35	38	30	25	26	25	34	29	7	22	24	35	27	32	18	29	40	33	25
Aday-4	33	39	24	48	42	37	42	6	39	38	31	36	37	12	46	26	39	38	36	28
Aday-5	24	30	19	37	31	28	30	11	30	25	22	27	29	9	37	15	30	30	27	19
Aday-6	19	31	34	26	19	22	20	37	25	1	18	20	31	30	28	18	25	37	29	24
Aday-7	15	20	24	30	25	18	23	18	21	22	13	17	19	22	26	9	20	25	17	9
Aday-8	7	19	30	12	13	9	6	36	9	25	9	7	19	40	9	20	5	25	19	14
Aday-9	6	14	26	21	22	9	15	25	12	22	4	9	14	28	18	8	12	20	14	2
Aday-10	4	18	27	17	19	1	11	34	3	23	7	4	18	38	14	18	6	23	18	12

Tablo 5. Aday noktalar-sağlık ocakları arası geçiş mesafeleri (km)

Sağlık Ocağı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Aday-1	16	15	15	31	24	19	27	23	20	26	15	17	11	28	30	13	21	18	8	11
Aday-2	31	29	11	45	39	32	40	7	33	32	30	31	24	19	42	19	34	25	24	21
Aday-3	21	41	43	25	19	22	21	22	23	5	20	21	38	19	33	13	24	45	32	18
Aday-4	32	40	20	40	35	33	36	5	34	33	29	31	39	8	45	24	35	39	31	26
Aday-5	23	32	18	31	27	25	27	10	26	23	21	23	29	10	37	13	27	32	23	18
Aday-6	17	37	39	14	9	18	17	34	19	1	16	17	31	28	29	14	20	41	28	20
Aday-7	12	21	23	27	17	14	22	16	15	19	10	12	18	21	26	5	16	26	12	7
Aday-8	8	25	36	8	10	7	4	36	7	24	9	6	21	41	5	18	5	29	17	13
Aday-9	5	18	32	19	18	7	15	23	8	19	3	5	15	28	18	6	9	22	11	1
Aday-10	1	19	31	13	13	1	8	29	1	18	3	1	16	34	12	11	3	24	12	7

Tablo 4 ve Tablo 5'e odaklanıldığında, aday noktalardan sağlık ocaklarına olan geçiş süreleri 1 dk ile 48 dk arasında değişirken, aday noktalar ile eczaneler arasındaki mesafeler 1 km ile 45 km arasında değişmektedir. Örneğin Aday-1'den Sağlık Ocağı-1'e olan 16 km'lik mesafe, 19 dk'da gidilebilmektedir. Mesafelerin ve geçiş sürelerinin

belirlenmesinin ardından sağlık ocaklarının ecza ürünlerine olan talepleri belirlenmiştir. Talepler belirlenirken sağlık ocağının yer aldığı mahalle nüfusu ve mahallede yer alan sağlık ocağı sayısı dikkate alınmıştır. Bu bağlamda, sağlık ocaklarının ecza ürünlerine olan talepleri koli bazında Tablo 6'daki gibidir.

Tablo 6. Sağlık ocağı talepleri

Sağlık Ocağı (SO)	Talep (Koli)	Sağlık Ocağı (SO)	Talep (Koli)
SO-1	9	SO-11	29
SO-2	16	SO-12	35
SO-3	6	SO-13	6
SO-4	8	SO-14	2
SO-5	3	SO-15	39
SO-6	9	SO-16	3
SO-7	4	SO-17	35
SO-8	3	SO-18	6
SO-9	14	SO-19	54
SO-10	3	SO-20	2

Sağlık ocakların ecza ürünlerine olan talebi 2 koli ile 54 koli arasında değişmektedir. Toplam 286 koli

talebi olan sağlık ocaklarına ecza ürünlerinin en geç 25 dk'da ulaştırılması gerektiği varsayılmıştır.

3.1.2.3. Eczaneler

İnsanların ecza ürünlerini temin ettiği kurumların başında eczaneler gelmektedir. Eczaneler, tedarik ağı içerisinde ecza depolarının başlıca müşterileri

arasındadır. Bu bağlamda, ilçede yer alan 47 eczane talep noktası olarak çalışmaya dahil edilmiştir. İlçede yer alan eczanelerin konumları Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. İlçedeki eczane konumları

Eczanelerin talepleri belirlenirken, eczanenin bulunduğu mahalle nüfusu, mahallede bulunan eczane sayısı ve eczanenin hastaneye yakın olma

durumu dikkate alınmıştır. İlçede yer alan eczanelerin talepleri Tablo 7'deki gibidir.

Tablo 7. Eczane talepleri

Eczane (E)	Talep (Koli)	Eczane (E)	Talep (Koli)	Eczane (E)	Talep (Koli)	Eczane (E)	Talep (Koli)
E-1	12	E-13	2	E-25	11	E-37	5
E-2	2	E-14	10	E-26	2	E-38	5
E-3	5	E-15	15	E-27	9	E-39	13
E-4	9	E-16	1	E-28	1	E-40	2
E-5	3	E-17	3	E-29	4	E-41	21
E-6	6	E-18	4	E-30	18	E-42	2
E-7	7	E-19	9	E-31	11	E-43	3
E-8	5	E-20	9	E-32	5	E-44	12
E-9	3	E-21	5	E-33	12	E-45	12
E-10	9	E-22	10	E-34	5	E-46	7
E-11	18	E-23	5	E-35	2	E-47	13
E-12	12	E-24	2	E-36	6		

Tablo 7'ye göre eczanelerin ecza ürünlerine olan talebinin 2 koli ile 18 koli arasında değiştiği görülmektedir. Toplam 347 koli talebi olan eczanelere, ecza ürünlerinin en geç 30 dk'da ulaştırılması gerektiği varsayılmıştır.

3.2. Matematiksel model sonuçları

Çalışma kapsamında belirlenen veriler kullanılarak önerilen matematiksel model çalıştırıldığında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Önerilen matematiksel modele göre minimum mesafeyi verecek en uygun 4 depo yeri belirlenmiştir. Buna göre dört depo yerinden talep noktalarına toplam dağıtım mesafesi 714 km olarak bulunmuştur. Aday-6 (Akören), Aday-7 (Büyükkılıçlı), Aday-8 (Kavaklı) ve Aday-9 (Alipaşa) en uygun depo yerleri olarak belirlenmiştir. Önerilen matematiksel modele göre açılmasına karar verilen depo konumları Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Açılacak depo yerleri

Şekil 5'ten görüleceği üzere açılacak depolar kırmızı ile gösterilmiştir. Depolar; eczane, sağlık ocağı ve hastanelerin yoğun olarak bulunduğu şehir merkezine yakın konumlarda yer almaktadır. Matematiksel model sonucunda hastanelerin hangi depolardan, ne kadar sürede hizmet alacağı Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8'e bakıldığında açılacak depolardan hastanelere ecza ürünlerinin ulaştırılma süreleri 6 dk ile 20 dk arasında değişmektedir. Kavaklı'dan iki hastanelerin talebi karşılanırken, diğer 3 depodan birer hastanelerin talebi karşılanmaktadır.

Tablo 8. Hastane-açılacak depo arası geçiş süreleri

Hastane (H)	Depo	Süre (dk)
H-1	Kavaklı	6
H-2	Alipaşa	12
H-3	Kavaklı	6
H-4	Akören	20
H-5	Büyükkılıçlı	17

Ele alınan problemde bir diğer talep noktası olan sağlık ocaklarına bakıldığında, matematiksel model sonuçlarına göre sağlık ocaklarının hangi depodan ne kadar sürede hizmet alacağı Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Açılacak depo-sağlık ocağı arasındaki geçiş süreleri

Depo	Sağlık Ocağı (SO)	Süre (dk)	Depo	Sağlık Ocağı (SO)	Süre (dk)
Akören	SO-5	19	Büyükkılıçlı	SO-2	20
	SO-9	25		SO-3	24
	SO-10	1		SO-8	18
	SO-11	18		SO-13	19
	SO-12	20		SO-14	22
	SO-17	25		Alipaşa	SO-1
Kavaklı	SO-4	12	SO-16		12
	SO-6	9	SO-18		20
	SO-7	6	SO-19		14
	SO-15	9	SO-20		2

Tablo 9'a göre Akören'de yer alan ecza deposu 6 sağlık ocağına 1 dk ile 25 dk arasında değişen sürelerde hizmet vermektedir. Kavaklı'da yer alan depo 4 sağlık ocağına, Büyükkılıçlı'da yer alan depo 5 sağlık ocağına ve son olarak Alipaşa'da yer alan depo 5 sağlık ocağına hizmet vermektedir.

Ele alınan problemde son talep noktası olarak eczaneler dikkate alınmıştır. Matematiksel model sonuçlarına göre eczanelerin hangi depodan ne kadar sürede hizmet alacağı Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. Açılacak depo-eczane arasındaki geçiş süreleri

Depo	Eczane	Süre (dk)	Depo	Eczane	Süre (dk)	Depo	Eczane	Süre (dk)
Akören	E-10	24	Alipaşa	E-2	11	Büyükkılıçlı	E-7	16
	E-15	18		E-4	9		E-1	10
	E-25	22		E-5	10		E-3	12
	E-30	22		E-6	10		E-9	13
	E-33	23		E-8	11		E-12	18
	E-41	24		E-11	5		E-18	12
	E-46	26		E-13	10		E-21	9
	E-47	23		E-14	9		E-22	5
		E-16		19	E-23		9	
		E-17		7	E-26		10	
		E-19		9	E-27		8	
		E-20		9	E-28		22	
		E-24		15	E-29		11	
		E-32		8	E-31		10	
		E-37		8	E-34		12	
		E-40		8	E-35		9	
		E-42		10	E-36		7	
		E-43		11	E-38		7	
				E-39	16			
				E-44	16			
				E-45	16			

Tablo 10'a göre Akören'de yer alan ecza deposu 8 eczaneye, Alipaşa'da yer alan depo 18 eczaneye, Büyükkılıçlı'da yer alan depo 1 eczaneye ve son olarak Kavaklı'da yer alan depo 20 eczaneye hizmet vermektedir. Eczanelere ulaşım süreleri 5 ile 26 dakika arasında değişmektedir.

3.3. Duyarlılık analizi

Çalışmada önerilen yöntemin sonuçlarını analiz etmek ve doğruluğunu göstermek amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Yöntemin değişikliklere karşı hassasiyetini ölçmek amacıyla modelde kullanılan bazı parametre değerleri değiştirilerek sonuçlar incelenmiştir.

3.3.1. Bütçe analizi

Probleme yönelik hazırlanan matematiksel modelin etkinliğini test etmek amacıyla, duyarlılık analizi kapsamında ilk olarak kullanılabilir bütçe değiştirilmiş ve elde edilen amaç fonksiyon değerleri ile birlikte açılma kararı verilen aday depolar Tablo 11'de verilmiştir.

İlk olarak mevcut durumdaki bütçe 1.200.000 TL'den 1.100.000 TL'ye düşürülmüştür. Bu durumda matematiksel model uygun çözüm üretememiştir. Daha sonra proje bütçesi 1.300.000 TL'ye artırılmış ve çözümler incelenmiştir.

Tablo 11. Bütçe analizi sonuçları

Bütçe (TL)	Z*	Açılan Depolar
1100000	Çözüm Yok	-
1200000	714	6-7-8-9
1300000	695	1-7-8-9
1400000	695	1-7-8-9
1500000	695	1-7-8-9
Sınırsız	695	1-7-8-9

Bu durumda amaç fonksiyon değeri 695 olmuştur. Bütçedeki bu 100.000 TL'lik artış toplam dağıtım mesafesinde 19 birimlik bir iyileştirme sağlamıştır. Analizin diğer aşamaları için bütçe 100.000 TL artırıldığında amaç fonksiyon değerinde iyileşme olmadığı görülmüştür.

3.3.2. Açılacak depo sayısı analizi

Duyarlılık analizi kapsamında açılacak depo sayısı değiştirilmiş ve elde edilen amaç fonksiyon değerleri ile birlikte açılma kararı verilen aday depolar Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12'den görüleceği üzere açılacak depo sayısı artırıldığında matematiksel modelin her adımda daha kötü sonuç vermektedir. Bunun nedeni olarak modelde bulunan bütçe kısıtı gösterilebilir.

Tablo 12. Depo sayısı analizi sonuçları

Depo Sayısı	Z*	Açılan Depolar
4	714	6-7-8-9
5	1282	1-6-7-9-10
6	1091	2-3-6-7-9-10
7	Çözüm Yok	-
3	Çözüm Yok	-

Buna ek olarak bütçe kısıtı kaldırıldığında farklı tesis sayıları için elde edilen sonuçlar Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. Bütçeden bağımsız depo sayısı analizi sonuçları

Depo Sayısı	Z*	Açılan Depolar
1	Çözüm Yok	-
2	Çözüm Yok	-
3	Çözüm Yok	-
4	695	1-7-8-9
5	511	1-7-8-9-10
6	447	1-6-7-8-9-10
7	420	1-4-6-7-8-9-10
8	416	1-2-4-6-7-8-9-10
9	416	1-2-3-4-6-7-8-9-10
10	416	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10

Matematiksel model tesis sayısı 1,2 ve 3 iken uygun çözüm vermemektedir. Tesis sayısı 4'ten 8'e kadar artırıldığında her adımda amaç fonksiyonu değerinin iyileştiği görülmektedir.

3.3.3. En geç ulaşım süresi analizi

Duyarlılık analizi kapsamında ecza ürünlerinin açılacak depolardan talep noktalarına en geç ulaşım süreleri değiştirilmiş ve elde edilen amaç fonksiyon değerleri ile birlikte açılma kararı verilen aday depolar Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 14. Değişen ulaşım sürelerine göre amaç fonksiyonu

Ulaşım (dk)	Süresi Z*	Açılan Depolar
Mevcut Durum	714	6-7-8-9
20	Çözüm Yok	-
25	619	6-7-8-9
30	616	6-7-8-9
Sınırsız	616	6-7-8-9

Yapılan analizde ilk olarak her bir talep noktasına 20 dk'da varılması gerektiği varsayılmıştır. Önerilen matematiksel model bu durum için uygun bir çözüm üretilmemiştir. Daha sonra en geç ulaşım süreleri her bir nokta için 25 dk yapılmış ve amaç fonksiyon değeri 619 olarak hesaplanmıştır. Üçüncü adımda en geç ulaşım süreleri 30 dk yapıldığında amaç fonksiyon değeri 616 olarak bulunmuştur. Son olarak en geç varış süresi ile ilgili kısıt kaldırıldığında amaç fonksiyon değeri 616 olarak bulunmuştur.

3.3.4. Kapasite analizi

Duyarlılık analizi kapsamında son olarak aday ecza depolarının kapasiteleri değiştirilmiş ve elde edilen amaç fonksiyon değerleri ile birlikte açılma kararı verilen aday depolar Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 15. Kapasite analizi

Kapasite	Z*	Açılan Depolar
Mevcut Durum	714	6-7-8-9
300	625	6-7-8-9
400	578	3-7-8-9
500	569	4-7-8-9
Sınırsız	568	4-7-8-9

Analiz kapsamında ilk olarak her bir deponun kapasitesinin 300 koli olduğu varsayılmış daha sonra kapasite miktarının 400 ve 500 koli olduğu durumlar için sonuçlar elde edilmiştir. Depo kapasitesinin artırılması ile birlikte amaç fonksiyon değeri sürekli iyileşerek 569 değerine ulaşmıştır. Son olarak ilgili kısıt kaldırıldığında 568 değeri elde edilmiştir.

Yapılan duyarlılık analizi kapsamında 4 farklı başlıkta 23 farklı model koşutularak sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen senaryolar her birinde önerilen matematiksel model başarılı sonuçlar vermiştir. Dikkate alınan nokta sayısı arttığı taktirde model çözüm üretilmezse, sezgisel ya da metasezgisel algoritmalara başvurulabilir.

4. Sonuç

Çalışmada ecza ürünlerinin dağıtımını içeren tedarik ağında, farklı yapılarıdaki talep noktaları için ecza deposu yeri seçim problemi ele alınmıştır. Bu bağlamda farklı yapıdaki talep noktaları olarak hastaneler, sağlık ocakları ve eczaneler belirlenmiştir. Talep noktalarının belirlenmesinin ardından, problem kapasiteli tesis yeri seçim

problemi olarak ele alınmış ve probleme yönelik yeni bir matematiksel model önerilmiştir. Uygulama bölgesi olarak İstanbul/Silivri ilçesi seçilmiştir. Her bir noktanın talebi, noktanın konumu gözetilerek belirlenmiştir. Uzmanlarla görüşülerek beş hastane, yirmi sağlık ocağı ve kırk yedi eczane olmak üzere, her bir talep noktasına ulaşılabilecek en geç süreler belirlenmiştir. Çalışmanın devamında; önerilen matematiksel model kullanılarak minimum mesafeyle dağıtım yapılması için açılması gereken ecza depolarının yerleri belirlenmiştir. Modelin sonuçlarını analiz etmek ve doğruluğunu göstermek amacıyla problemde kullanılan parametre değerleri değiştirilerek duyarlılık analizi yapılmıştır.

Çalışmanın literatüre katkısı şu şekilde tanımlanabilir: (1) Eczza deposu yer seçim problemi ele alınmıştır; (2) Problemde hastaneler, sağlık ocakları ve eczaneler dikkate alınmıştır; (3) Problem kapasiteli tesis yeri seçim problemi olarak ele alınmış ve buna yönelik yeni bir matematiksel model önerilmiştir; (4) Aday depo yerleri belirlenirken, gerçek lokasyonlar kullanılmıştır; (5) Uzmanlarla görüşülerek her bir talep noktasına gönderilecek olan ecza ürünlerinin en geç ulaştırılması gereken süreleri belirlenmiştir; (6) Önerilen metodolojinin güvenilirliğini ve uygulanabilirliğini göstermek için gerçek bir uygulama ile çalışma pekiştirilmiştir; (7) Farklı senaryolar oluşturularak modelin esnekliği gösterilmiştir.

Sonraki çalışmalar için; farklı bölgeler ele alınabilir, çok ürünlü yapılar incelenebilir, dağıtım ağında rotalama planının oluşturulması dikkate alınabilir. Dağıtımda kullanılacak araçlar dikkate alınarak, probleme araç rotalama da dahil edilerek matematiksel model genişletilebilir. Daha çok sayıda dağıtım noktası dikkate alınarak matematiksel modelin çözümüne yönelik algoritmalar geliştirilebilir. Çalışmaya belirsizliklerin dahil edilebilmesi amacıyla ele alınan probleme bulanıklık, rassallık gibi belirsizlik içeren yaklaşımlar dahil edilebilir.

Kaynaklar

- Arthur, J. L., Hachey, M., Sahr, K., Huso, M. and Kiester, A. R. (1997). Finding all optimal solutions to the reserve site selection problem: formulation and computational analysis. *Environmental and Ecological Statistics*, 4(2), 153-165, <https://doi.org/10.1023/A:1018570311399>.
- Bahadori-Chinibelagh, S., Fathollahi-Fard, A. M. and Hajiaghahi-Keshteli, M. (2019). Two constructive algorithms to address a multi-depot home healthcare routing problem. *IETE Journal of Research*, 1-7, <https://doi.org/10.1080/03772063.2019.1642802>
- Balinski, M. L. (1965). Integer programming: methods, uses, computations. *Management Science*, 12(3), 253-313, <https://doi.org/10.1287/mnsc.12.3.253>.
- Chen, X., Yang, H. and Wang, X. (2019). Effects of price cap regulation on the pharmaceutical supply chain. *Journal of Business Research*, 97, 281-290, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.01.030>.
- Friemann, F. and Schönsleben, P. (2016). Reducing global supply chain risk exposure of pharmaceutical companies by further incorporating warehouse capacity planning into the strategic supply chain planning process. *Journal of Pharmaceutical Innovation*, 11(2), 162-176, <https://doi.org/10.1007/s12247-016-9249-6>.
- Haial, A., Berrado, A. and Benabbou, L. (2019). Redesigning a transportation network: the case of a pharmaceutical supply chain. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 35(1), 90-118, <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2020.10025514>.
- Haight, R. G., Revelle, C. S. and Snyder, S. A. (2000). An integer optimization approach to a probabilistic reserve site selection problem. *Operations Research*, 48(5), 697-708, <https://doi.org/10.1287/opre.48.5.697.12411>.
- Jelokhani-Niaraki, M. and Malczewski, J. (2015). Decision complexity and consensus in web-based spatial decision making: a case study of site selection problem using gis and multicriteria analysis. *Cities*, 45, 60-70, <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.03.007>.
- Ji, Y. (2019). Optimal scheduling in home health care: pharmacy-hospital-patient's vehicle routing problem. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Science and Application Engineering* (pp. 1-6), <https://doi.org/10.1145/3331453.3361310>.
- Koc, A., Turk, S. and Şahin, G. (2019). Multi-criteria of wind-solar site selection problem using a gis-ahp based approach with an application in Iğdir province/Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(31), 32298-32310, <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06260-1>.
- Li, X., He, J. and Liu, X. (2009). Intelligent gis for solving high-dimensional site selection problems using ant colony optimization techniques. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(4), 399-416, <https://doi.org/10.1080/13658810801918491>.

- Lin, M., Huang, C. and Xu, Z. (2020). MULTIMOORA based mcdm model for site selection of car sharing station under picture fuzzy environment. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101873, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101873>.
- Lubis, A. and Mawengkang, H. (2020). A capacitated heterogeneous vehicle routing problem for pharmaceutical products delivery. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 11(4), 738-741.
- Masoumi, A. H., Yu, M. and Nagurney, A. (2012). A supply chain generalized network oligopoly model for pharmaceuticals under brand differentiation and perishability. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(4), 762-780, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2012.01.001>.
- Myerson, A. S., Krumme, M., Nasr, M., Thomas, H. and Braatz, R. D. (2015). Control systems engineering in continuous pharmaceutical manufacturing. *2014 Continuous Manufacturing Symposium. Journal of Pharmaceutical Sciences*, 104(3), 832-839, <https://doi.org/10.1002/jps.24311>.
- Nematollahi, M., Hosseini-Motlagh, S. M. and Heydari, J. (2017). Economic and social collaborative decision-making on visit interval and service level in a two-echelon pharmaceutical supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3956-3969, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.062>.
- Oufella, S. and Hamdadou, D. (2018). A collaborative spatial decision support system applied to site selection problems. *International Journal of Applied Management Science*, 10(2), 127-156, <https://doi.org/10.1504/IJAMS.2018.092078>.
- Papageorgiou, L. G., Rotstein, G. E. and Shah, N. (2001). Strategic supply chain optimization for the pharmaceutical industries. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40(1), 275-286, <https://doi.org/10.1021/ie990870t>.
- Pedroso, M. C. and Nakano, D. (2009). Knowledge and information flows in supply chains: a study on pharmaceutical companies. *International Journal of Production Economics*, 122(1), 376-384, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.06.012>.
- Redi, A. A. N. P., Maula, F. R., Kumari, F., Syaveyenda, N. U., Ruswandi, N., Khasanah, A. U. and Kurniawan, A. C. (2020). Simulated annealing algorithm for solving the capacitated vehicle routing problem: a case study of pharmaceutical distribution. *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, 4(1), 41-49, <https://doi.org/10.30656/jsmi.v4i1.2215>.
- Rossetti, C. L., Handfield, R. and Dooley, K. J. (2011). Forces, trends, and decisions in pharmaceutical supply chain management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(6), 601-622, <https://doi.org/10.1108/09600031111147835>.
- Shah, N. (2004). Pharmaceutical supply chains: key issues and strategies for optimisation. *Computers & Chemical Engineering*, 28(6-7), 929-941, <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2003.09.022>.
- Uthayakumar, R. and Priyan, S. (2013). Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies: optimization for a pharmaceutical company and a hospital. *Operations Research for Health Care*, 2(3), 52-64, <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2013.08.001>.
- Weraikat, D., Zanjani, M. K., and Lehoux, N., (2016). Coordinating a green reverse supply chain in pharmaceutical sector by negotiation. *Computers & Industrial Engineering*, 93, 67-77, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.026>.
- Wong, C. K., Fung, I. W. H. and Tam, C. M. (2010). Comparison of using mixed-integer programming and genetic algorithms for construction site facility layout planning. *Journal Of Construction Engineering And Management*, 136(10), 1116-1128, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000214](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000214).
- Wu, Y., Zhang, B., Wu, C., Zhang, T. and Liu, F. (2019). Optimal site selection for parabolic trough concentrating solar power plant using extended PROMETHEE method: a case in China. *Renewable Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.131>.
- Yap, J. Y. L., Ho, C. C. and Ting, C. Y. (2019). A systematic review of the applications of multi-criteria decision-making methods in site selection problems. *Built Environment Project and Asset Management*, <https://doi.org/10.1108/BEPAM-05-2018-0078>.
- Yu, X., Li, C., Shi, Y. and Yu, M. (2010). Pharmaceutical supply chain in China: current issues and implications for health system reform. *Health Policy*, 97(1), 8-15, <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2010.02.010>.
- Zahiri, B., Jula, P. and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2018). Design of a pharmaceutical supply chain network under uncertainty considering perishability and substitutability of products. *Information Sciences*, 423, 257-283, <https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.09.046>.

Farklı mineral ve tarımsal atık kaplamalı betonarme donatılarının ve katkılı betonların korozyon performansının incelenmesi

Investigation of corrosion performance of different mineral and agricultural waste coated reinforced concrete reinforcements and additive concrete

Mustafa EKEN*^{1.a}

¹ Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi. Elbistan Meslek Yüksekokulu. İnşaat Teknolojisi Bölümü. Kahramanmaraş/Elbistan

• Geliş tarihi / Received: 03.12.2020 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 18.02.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 08.03.2021

Öz

Bu çalışmanın amacı; Donatı çubuklarını korozyon oluşumuna karşı korumada Mısır sapı külü (M), buğday sapı külü (B), ayçiçeği sapı külü (A) ve çınar yaprağı külleri (Ç) ile mineral katkıları olarak adlandırılan kolemanit (K), diatomit (D), yüksek fırın cürufu (Y), zeolit (Z), uçucu kül (U) ve bazaltik pomza (P) katkılı kaplama malzemelerinin donatı korozyonuna karşı özelliklerinin incelenmesidir. Farklı katkıları kullanılarak tekli – ikili kombinasyonlarla beton örnekleri ve boya üretimi gerçekleştirilmiştir. Kaplama malzemesi olarak boya üretimi ve katkılı beton üretiminin gerçekleştirilebilmesi için laboratuvar ortamında elde edilen M, B, A ve Ç yaprağı külleri tekli karışımları çimento yerine kütüce %10-%20-%30 oranlarında ikili karışımları %10-%30-%50 oranlarında eklenmiştir. Mineral katkıları K, D, Y, Z, U ve BP tekli karışımları ince agrega yerine kütüce %10-%20-%30 oranlarında ikili karışımları ise %10-%30-%50 oranlarında eklenmiştir. Çelik donatı dış yüzeyleri farklı mineral ve tarımsal atık katkılı boya ile kaplanırken, yine aynı katkıları kullanılarak beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Donatı korozyonunun incelenmesinde dış yüzeyi kaplanmış donatılar katkılı betonlara gömülerek %3.5'lük tuzlu su solüsyonunda bekletilmiş ve bu örneklere kütle kaybı yöntemi, galvanik hücre yöntemi ve hızlandırılmış korozyon deney yöntemleri uygulanmıştır. Çalışma sonuçları incelendiğinde donatı yüzeyi tarımsal atık katkılı M, B ve mineral katkılı K, U katkılı boyalarla kaplanan donatıların ve bu katkıları üretilen beton örneklerinin korozyona karşı göstermiş olduğu dirençler yüksek bulunmuştur. Farklı mineral katkıları ve tarımsal atıklar kullanılarak üretilen boya malzemesinin donatı korozyonunu önleyici kaplama malzemesi olarak kullanılması ve kullanılan tarımsal atıkların beton ve çimento sektöründe değerlendirilmesinde olumlu katkıları sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: Durabilite, Korozyon, Mineral katkıları, Tarımsal atıklar

Abstract

The aim of this study is; In protecting reinforcement bars against corrosion formation Corn stalk ash (M), wheat stalk ash (B), sunflower stalk ash (A) and sycamore leaf ash (C) and mineral additives called colemanite (K), diatomite (D), blast furnace Investigation of the properties of slag (Y), zeolite (Z), fly ash (U) and basaltic pumice (P) doped coating materials against reinforcement corrosion. Concrete samples and paint production were carried out with single and double combinations using different additives. As a coating material, for the production of paint and concrete with additives, the single mixtures of M, B, A and Ç leaf ashes obtained in the laboratory were added in the ratio of 10-% 20% -30% by mass, double mixes at the rate of 10-% 30-50% instead of cement. Single mixtures of mineral additives K, D, Y, Z, U and BP were added at the rate of 10-% 20% -30% by mass instead of fine aggregate, and double mixes at the rate of 10-% 30-50%, While the outer surfaces of the steel reinforcement were coated with paint with different mineral and agricultural waste additives, concrete was produced using the same additives. In the investigation of reinforcement corrosion, the outer surfaces of the coated reinforcements were embedded in concrete with additives and soaked in 3.5% saline solution and mass loss method, galvanic cell method and accelerated corrosion test methods were applied to these samples. When the results of the study were examined, the resistance of the reinforcement surfaces coated with agricultural waste additive M, B and mineral-added K, U-added paints and concrete samples produced with these additives against corrosion were found to be high. The use of paint material produced by using different mineral additives and agricultural wastes as a coating material to prevent reinforcement corrosion and the utilization of the used agricultural wastes in the concrete sector will provide positive contributions.

Keywords: Durability, Corrosion, Mineral additives, Agricultural waste

*a Mustafa EKEN; mustafaeken.me@gmail.com, Tel: (0506) 266 18 58, orcid.org/0000-0002-7559-876X

1. Giriş

Betonarme, beton ve çelik gibi birbirine göre çok farklı ve zıt iki malzemenin bir araya gelerek yapı sisteminin temelini oluşturması olarak tanımlanmaktadır. Çevresel etkiler sonucunda betonarme fiziksel ve kimyasal olarak birçok durabilite problemleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu etkiler içerisinde korozyon yapı bileşeninin servis ömrü ile doğrudan ilişkilidir ve durabilite problemlerinin en önemli parametrelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Küçük, 2000; Yeau vd., 2005; Sakr, 2005; Baradan vd., 2005). Metallerin ortamda var olan oksijen ve nemim etkisiyle kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlara girmesi sonucunda metallerin oksitlenerek kütle kaybına uğraması olayıdır (Baradan vd., 2005; Yalçın vd., 1999; Ergi vd., 2007), Beton içerisinde bulunan donatı korozyonu betonu oluşturan bileşenler, bileşenlerin durabilite özellikleri, pas payı, s / ç oranı, karışım oranları, betonun üretimi, betonun tasarımı, yapının bulunduğu ortam, çevre koşulları ve yapının servis ömrü gibi birçok faktöre bağlıdır (Ergi vd., 2007; Pavlik, 1996; Pavlik vd., 1997). Beton içerisine gömülü donatının korozyona karşı korunması betonun sahip olduğu alkali seviyesinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Betonun mevcut Ph= 13 seviyesinde meydana gelen azalma donatının korozyona karşı korumasız kalacağına bir göstergesi olarak bilinmektedir. Beton içerisinde meydana gelen donatı korozyonu oluşumu bir diğer adıyla paslanma olarak da ifade edilmektedir. Paslanan donatı hacim artışına maruz kalarak gevrek özelliğe sahip betonun çatlaklar oluşturmaya neden olacaktır. Betonda meydana gelen çatlaklar betonu geçirimli hale getirerek dış etkilere maruz bırakır ve betonun servis ömrünü azaltmaktadır (Çil, 2006; Uysal, 2006).

Betonarme yapıların donatı korozyonuna karşı dirençli olmaları, yapı hizmet ömür sürelerinin artması ile atık malzemelerin geri dönüşümü, ekonomik açıdan elde edilen kazancın artması, sürdürülebilirliğe katkı sağlaması ve çevresel sorunların azalmasında yüksek pay sahibidir. Betonun geçirgenliği, beton içerisindeki mevcut boşlukların ve ara yüzeyde meydana gelen mikro çatlakların oluşturduğu durabilite sorunu oluşturan bir fonksiyondur. Özellikle donma-çözölmeye maruz kalan beton örneklerinde oluşacak çatlaklardan suyun içeriye nüfus ederek donması hacim genişlemesine neden olarak betonun geçirimsizliği artacak korozyon oluşum riski hızlanacaktır. Durabilite özelliklerini geliştirmek korozyon dirençlerini arttırmak amacıyla farklı katkıları kullanarak beton örnekleri elde

edilmektedir (Yıldız vd., 2009). Bu katkıları çevre sorunu oluşturan kimyasal içerikleri ile beton örneklerinin performanslarını arttıran tarımsal atıklar ile endüstriyel ürünlerin atıklarını oluşturan malzemelerdir (Khatrı vd., 2004; Sancak vd., 2014). Sürdürülebilirliğin ve eko-verimliliğin sağlanmasında tarımsal atıkların kullanımı beton ve çimento sektöründe büyük önem arz etmektedir. Tarımsal atıklar kolay temin edilebilmeleri, nakliye giderlerinin azaltılmaları, çevre kirliliğini minimize etmeleri, ekolojik döngü içerisinde tekrar yok edilebilmeleri ve yapı ve malzemeleri üretiminde meydana gelen üretim giderlerini azaltılmaları gibi birçok avantaj sağlamaktadırlar. Bu avantajlara sahip tarımsal atıklar birçok akademik çalışmada değerlendirilmiş ve başarıya ulaşılmıştır (Sisman vd., 2011; Binici vd., 2008, 2012; Aksoğan vd., 2016). Binici ve ark., yaptıkları çalışmada tarımsal atık olarak bulunan mısır, buğday ve ayçiçeği sapı küllerini çimentodan azaltarak beton örnekleri üretmişler, Elde ettikleri küllerle üretilen örneklerin betonun birçok durabilite problemlerini azaltmada etkin olduğu bunun yanı sıra radyasyon zırhlamada da normal betona oranla soğurma katsayısının yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Farklı bir çalışmada ise, tarımsal atıklar ince agregadan azaltılarak ek puzolanik özellik ortaya çıkarmak hedeflenmiştir. İnce agregaya yerine kullanılan tarımsal atıklarla üretilen beton örneklerin işlenebilirliğe, mekanik özelliğe ve termal özelliklere katkıda bulunduğu belirtilmektedir (Oyedepo vd., 2014). Farklı mineral katkıların ince agregaya yerine kullanılarak üretilen beton örneklerinde de betonun durabilite özellikleri gelişmiş ve performansı artmıştır (Demirbaş vd., 2000). Yapılan çalışmada durabilite problemlerinden donatı korozyonuna karşı beton özelliklerini incelemek amacıyla katkıları kullanarak beton üretimi gerçekleştirilmiş ve sonuçları incelendiğinde katkı kullanımının korozyon direncini arttırmada etkili olduğunu göstermektedir (Binici vd., 2012). Topçu ve arkadaşları granüle yüksek fırın cüruf katkılı betonların korozyon direncini arttırıcı bir etkisi olduğunu zeolit katkılı betonların belirlemişleridir. Betonun dayanıklılık ve durabilite özelliklerini geliştirmek amacıyla zeolit ve pomza katkılarının kullanımı olumlu sonuçlar vermekte ve betonun geçirgenliği azaltmakta dolayısıyla da korozyon oluşum riskini minimize etmektedir. Ayrıca dayanımı yüksek beton üretiminde diğer puzonlara alternatif bir malzeme olarak kullanılabileceği belirtilmektedir (Dorum vd., 2011; Yıldız vd., 2014). Yapılan literatür çalışmalarında zeolit, kolemanit, uçucu kül, pomza, diatomit gibi katkıları kullanarak üretilen betonların donatı korozyonuna karşı dirençlerinin yüksek oldukları

belirlenmiştir (Vesely vd., 2010; Najimi vd., 2012; Gerengi vd., 2015; Eskandari vd., 2015; Badar vd., 2014).

Ülkemiz deprem kuşağı bölgesinde yer almaktadır, 17 Ağustos Gölcük, 17 Ağustos 1999 Eskişehir’de ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinden sonra yapılan hasar tespit çalışmaları mevcut binalarının % 49’unda betonarme yapıların korozyon oluşumu nedeniyle donatılarda kesit daralmaları meydana geldiği görülmüştür. Meydana gele deprem etkilerinin yanında betonarme yapıların taşıma gücü kapasitesi için önemli bir parametre olan donatı korozyonunun oluşmaması için yapılarda beton katkı malzemesi kullanımı gibi birçok öneri sunulmuştur (Coşgun, 1999; Doğan 2000). İstanbul depremleri ile ilgili olarak yapılan araştırmalarda en büyük sorunun deprem olmadığı korozyon olduğu belirlenmektedir (Coşgun, 2003). 24 Ocak 2020 Elazığ’da meydana gelen depremde yıkılan binalarda yapılan hasar tespit çalışmaları raporu korozyon oluşumu binaların taşıma gücü kapasitesini zayıflatmakta ve bunun sonucu olarak aderans kaybı ve bina yıkımları meydana gelmektedir (Çağlar vd., 2020).

Bu çalışmanın amacı, korozyon oluşumunu önlemek amacıyla teknolojik birçok yöntem bulunmaktadır, bu yöntemler arasında temin edilme süresi, uygulama kolaylığı, uygulama sonrası kullanım ömrü, malzeme yüzeyinde geçirgenliği azaltması, ekonomikliği ve korozyonu önleme avantajları sayıldığında en etkili yöntemlerden biri olarak yüzey kaplama yöntemi belirtilmektedir. Türkiye mineral katkıları ve tarımsal açıında zengin bir ülke olarak bilinmektedir. Bu avantajı ile kolemanit (K), diatomit (D), yüksek fırın cürufu (Y), zeolit (Z), uçucu kül (U) ve bazaltik pomza katkılı ve mısır sapı külü (M), buğday sapı külü (B), ayçiçeği sapı külü (A) ve çınar yaprağı külleri (Ç) gibi tarımsal atıklar kullanılarak donatı yüzeyinin kaplanması amacıyla boya üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca aynı katkıların tekli ve ikili kombinasyonları oluşturularak mineral katkıları ince agrega yerine, tarımsal atıklar ise çimento yerine kullanılarak beton örnekleri üretilmiştir. Bu şekilde farklı mineral katkıları ve tarımsal atıklar tekli ve ikili kombinasyonlarda kullanılarak beton kalitesi yüksek, geçirimsizliği az, durabilite bakımında iyi beton üretimi gerçekleştirilecektir. Uygulanan korozyon yöntemlerinde elde edilen değerler ile malzemelerin optimum kullanım miktarları belirlenmiştir. Tarımsal atıklar ve sanayi yan ürün atıklarının değerlendirilmesi ile gelecek nesillerin çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan kendi ihtiyaçlarını karşılamak için doğal kaynaklar

korunması amaç edinilmiştir. Beton yapılar dünyadaki insanların zamanının büyük bir çoğunluğunu geçirdiği sosyal mekân olarak bilinmektedir. Bu oran dikkate alındığında yapı bileşenleri ve yapı malzemelerine verilen önemin büyüklüğü ortaya çıkmaktadır. Ülkemizin deprem kuşağı bölgesinde yer alması ve korozyon oluşumun yapılara verdiği zarar göz önüne alındığında çalışmada farklı katkıları ile üretilen beton örneklerinin sonuçları irdelendiğinde donatı korozyonunu önleyici etkilerin meydana geldiği kaydedilir bir durumdur.

2. Malzeme ve yöntem

2.1. Materyaller

TS EN 197-1 standartlarına göre CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmaktadır. İnce agrega olarak 0-4 mm kum, iri agrega olarak 4-22.4 mm kalkerli kırmataş agregası kullanılmıştır. Agregaların özellikleri Tablo 1’de verilmektedir. Mısır, buğday, ayçiçeği ve çınar yaprağı Kahramanmaraş bölgesinde yaygın bulunan tarımsal atıklardır. Çalışmada kullanılan tarımsal atıklardan buğday sapı, tarım sektöründe çalışan çiftçilerin buğday hasatını tamamlamalarının ardından tarlada kalan kısmıdır. Çiftçilerin bir sonraki tarım ürünü ekmek için sorun oluşturan bu saplar toplanarak kapalı bir ortamda yakılmış ve aynı ortamda soğutulmuş külleri elde edilmiştir. Diğer bir tarımsal atık ürünü olan ayçiçeği sapı, ayçiçeği ürününün hasadı alındıktan sonra çiftçilere sorun oluşturan sap kısmıdır. Ayçiçeği sapı toplanarak kapalı bir ortamda yakılmış ve soğuma bırakılarak külleri elde edilmiştir. Mısır sapı tarımsal atığı, çiftçinin mısır hasadı yaptırmadan sonra tarlada atık malzeme olarak kalan kısmıdır. Kurallara uygun olarak toplanıp yakılarak külleri elde edilmiştir. Diğer bir tarımsal atık ürünümüz çınar yaprağı, şartlara uygun toplanıp yakıldıktan sonra külleri elde edilmiştir. Bu tarımsal ürünlerin kurallarına uygun olarak toplanıp küllerinin elde edilmesi bölge için ek istihdam alanlarının sağlanmasına da yardımcı olacaktır. Kolemanit Eti maden işletmelerinden, Diatomit Afyon bölgesinden, Yüksek fırın cürufu İskenderun İsdemir AŞ’den, Zeolit Manisa bölgesinden, Uçucu kül Çatalağzı termik santralinden, Bazaltik pomza Osmaniye bölgesinden temin edilmiştir. Çalışmada beton örneklere gömülü olarak bulunan S420 çelik çubuğu 210 Mpa elastisite modülüne sahip 12 mm çapında ve 60 mm uzunluğundadır. CEM I 42.5 R ve atıkların kimyasal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Donatı korozyonunun kaplama malzemesi olarak kullanılan boya karışımı Kayseri bölgesinde bir fabrikaya

hazırlanmıştır ve boya içerikleri Tablo 3'te verilmektedir. Tarımsal atık ürünler tarlalardan hasat sonrası toplanarak laboratuvar ortamında kurumaya bırakıldı, daha sonra 60 dk boyunca sabit sıcaklık değeri korunarak 600°C'de yakıldı ve

ardından yanma süresi kadar süre içinde soğumaya bırakılmıştır. Tane boyutu homojenliği için 1 mm lik eleklerden elenerek karışımda kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Tablo 1. Agrega özellikleri

Özgül ağırlık (g/cm ³)	2.67	2.71	2.71
Sıkışık birim ağırlık (g/cm ³)	2.03	1.92	1.92
Gevşek birim ağırlık (g/cm ³)	1.82	1.67	1.67
Su emme kapasitesi (%)	1.19	0.63	0.64

Tablo 2. Malzemelerin kimyasal özellikleri

Bileşenler %	Çimento	M	B	A	Ç	K	D	YFC	Z	U	BP
SiO ₂	20.03	35.60	43.53	4.98	20.65	4.0	79.56	37.89	62.17	56.80	41.42
Al ₂ O ₃	4.84	9.58	0.26	1.23	5.62	0.4	6.54	10.29	9.76	24.1	12.97
Fe ₂ O ₃	2.42	3.67	0.58	0.63	3.4	0.08	2.76	0.95	2.02	6.8	11.41
CaO	62.45	19.66	5.19	19.54	38.15	26.0	2.45	35.86	1.43	1.04	13.73
MgO	2.61	2.23	0.99	4.22	1.72	3.0	0.79	7.38	0.75	2.4	7.76
MnO	-	0.09	0.05	0.03	0.07	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	0.8	1.62	14.82	34.68	1.05	0.17	0.69	0.9	3.72	-	-
TiO ₂	-	0.81	0.13	0.38	0.47	-	-	-	-	1.2	-
Cr ₂ O ₃	-	0.02	0.002	0.003	0.02	-	-	-	-	1.92	-
SO ₃	3.55	0.04	0.39	0.92	0.13	-	0.48	-	0.07	2.9	-
Na ₂ O	0.6	0.25	0.97	0.26	0.3	0.18	2.63	0.6	0.46	-	-
B ₂ O ₃	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-
Diğer	2.7	26.43	33.08	33.47	28.42	26.17	4.1	6.13	19.62	2.84	12.72

Tablo 3. Boya karışım içerikleri

Malzeme	Miktar (g)	Yüzde (%)
Su	4200	21.00
Calcon	30	0.15
Zehir	30	0.15
Islatıcı	30	0.15
Glikol	50	0.25
Amonyak	40	0.20
Peva	2800	14.00
Titan	2600	13.00
Tarımsal atık küller ve mineraller	5000	25.00
Kalsit (25 micron)	4400	22.00
Aliminyumsilikat	250	1.25
Talk	400	2.00
Natrason	70	0.35
Tiner	100	0.50
Toplam	20000	100

2.2. Karışım oranları

Laboratuvar ortamında elde edilen Mısır sapı külü (M), buğday sapı külü (B), ayçiçeği sapı külü (A) ve çınar yaprağı külleri (Ç) ağırlıkça M, B, A ve Ç yaprağı küllerinin tekli karışımları çimento yerine küttelece %10-%20-%30 oranlarında, ikili karışımları MB, BA, AM, ÇM, AÇ ve BÇ %10-%30-%50 oranlarında isimlendirilerek beton tasarım yapılmıştır. Mineral katkıların D, Y, Z, U ve BP tekli karışımları ince agrega yerine küttelece %10-%20-%30 oranlarında hazırlanırken, ikili

karışımları UD, DP, PY, ZK ve KU ise %10-%30-%50 oranlarında isimlendirilerek beton tasarım yapılmıştır sadece K katkılı karışım için tekli ve ikili karışım oranları %1-%2-%3 kullanılmaktadır. Bor içerikli karışımlar ile ilgili yapılan çalışmalarda betonun hidrasyon özelliğini geciktirici etki yaratmasında kaynaklandığı belirlenmiştir (Yalçın, 1996). Tarımsal atıklar ve mineral katkıları kullanılarak elde edilen beton örneklerin tekli karışım oranları Tablo 4'te ikili karışım oranları ise Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 4. Tekli karışım oranları

	Çimento kg/m ³	Su kg/m ³	İnce agrega 0-4	İri agrega 4-22	M kg/m ³	B kg/m ³	A kg/m ³	Ç kg/m ³	K kg/m ³	D kg/m ³	Y kg/m ³	Z kg/m ³	U kg/m ³	BP kg/m ³
R	397	200	671	1006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M10	357.3	200	671	1006	39.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M20	317.6	200	671	1006	79.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M30	277.9	200	671	1006	119.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B10	357.3	200	671	1006	-	39.7	-	-	-	-	-	-	-	-
B20	317.6	200	671	1006	-	79.4	-	-	-	-	-	-	-	-
B30	277.9	200	671	1006	-	119.1	-	-	-	-	-	-	-	-
A10	357.3	200	671	1006	-	-	39.7	-	-	-	-	-	-	-
A20	317.6	200	671	1006	-	-	79.4	-	-	-	-	-	-	-
A30	277.9	200	671	1006	-	-	119.1	-	-	-	-	-	-	-
Ç10	357.3	200	671	1006	-	-	-	39.7	-	-	-	-	-	-
Ç20	317.6	200	671	1006	-	-	-	79.4	-	-	-	-	-	-
Ç30	277.9	200	671	1006	-	-	-	119.1	-	-	-	-	-	-
K1	397	200	603.9	1006	-	-	-	-	6.71	-	-	-	-	-
K2	397	200	536.8	1006	-	-	-	-	13.42	-	-	-	-	-
K3	397	200	469.7	1006	-	-	-	-	20.13	-	-	-	-	-
D10	397	200	603.9	1006	-	-	-	-	-	6.71	-	-	-	-
D20	397	200	536.8	1006	-	-	-	-	-	13.42	-	-	-	-
D30	397	200	469.7	1006	-	-	-	-	-	20.13	-	-	-	-
Y10	397	200	603.9	1006	-	-	-	-	-	-	6.71	-	-	-
Y20	397	200	536.8	1006	-	-	-	-	-	-	13.42	-	-	-
Y30	397	200	469.7	1006	-	-	-	-	-	-	20.13	-	-	-
Z10	397	200	603.9	1006	-	-	-	-	-	-	-	6.71	-	-
Z20	397	200	536.8	1006	-	-	-	-	-	-	-	13.42	-	-
Z30	397	200	469.7	1006	-	-	-	-	-	-	-	20.13	-	-
U10	397	200	603.9	1006	-	-	-	-	-	-	-	-	6.71	-
U20	397	200	536.8	1006	-	-	-	-	-	-	-	-	13.42	-
U30	397	200	469.7	1006	-	-	-	-	-	-	-	-	20.13	-
BP10	397	200	603.9	1006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.71
BP20	397	200	536.8	1006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.42
BP30	397	200	469.7	1006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.13

Tablo 5. İkili karışım oranları

	Çimento kg/m ³	Su kg/m ³	İnce agrega 0-4	İri agrega 4-22	MB kg/m ³	BA kg/m ³	AM kg/m ³	ÇM kg/m ³	AÇ kg/m ³	UD kg/m ³	DBP kg/m ³	BPZ kg/m ³	ZK kg/m ³	KU kg/m ³
R	397	200	671	1006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB10	357.3	200	671	1006	39.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB30	277.9	200	671	1006	119.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB50	198.5	200	671	1006	198.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BA10	357.3	200	671	1006	-	39.7	-	-	-	-	-	-	-	-
BA30	277.9	200	671	1006	-	119.1	-	-	-	-	-	-	-	-
BA50	198.5	200	671	1006	-	198.5	-	-	-	-	-	-	-	-
AM10	357.3	200	671	1006	-	-	39.7	-	-	-	-	-	-	-
AM30	277.9	200	671	1006	-	-	119.1	-	-	-	-	-	-	-
AM50	198.5	200	671	1006	-	-	198.5	-	-	-	-	-	-	-
ÇM10	357.3	200	671	1006	-	-	-	39.7	-	-	-	-	-	-
ÇM30	277.9	200	671	1006	-	-	-	119.1	-	-	-	-	-	-
ÇM50	198.5	200	671	1006	-	-	-	198.5	-	-	-	-	-	-
AÇ10	357.3	200	671	1006	-	-	-	-	39.7	-	-	-	-	-
AÇ30	277.9	200	671	1006	-	-	-	-	119.1	-	-	-	-	-
AÇ50	198.5	200	671	1006	-	-	-	-	198.5	-	-	-	-	-
UD10	397	200	603.9	1006	-	-	-	-	-	67.1	-	-	-	-
UD30	397	200	469.7	1006	-	-	-	-	-	201.3	-	-	-	-
UD50	397	200	335.5	1006	-	-	-	-	-	335.5	-	-	-	-
DBP10	397	200	603.9	1006	-	-	-	-	-	-	67.1	-	-	-
DBP30	397	200	469.7	1006	-	-	-	-	-	-	201.3	-	-	-
DBP50	397	200	335.5	1006	-	-	-	-	-	-	335.5	-	-	-
BPY10	397	200	603.9	1006	-	-	-	-	-	-	-	67.1	-	-
BPY30	397	200	469.7	1006	-	-	-	-	-	-	-	201.3	-	-
BPY50	397	200	335.5	1006	-	-	-	-	-	-	-	335.5	-	-
ZK10	397	200	603.9	1006	-	-	-	-	-	-	-	-	36.9	-
ZK30	397	200	469.7	1006	-	-	-	-	-	-	-	-	110.71	-
ZK50	397	200	335.5	1006	-	-	-	-	-	-	-	-	169.52	-
KU10	397	200	603.9	1006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36.9
KU30	397	200	469.7	1006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110.71
KU50	397	200	335.5	1006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	169.52

2.3. Test programı

Deneyde kullanılmak üzere 12 mm çapında S420 sınıfı nervürlü betonarme çeliği, her biri 60 mm boyunda olacak şekilde kesilmiş ve kenarlarında oluşan çapaklar görüldüğü biçimde temizlenmiştir. Daha sonra donatılar dış yüzeylerinde oluşan pas tabakasının temizlenmesi için %3 hidroflorik asit

çözeltisinde bekletilmiş ve hemen alınarak dış yüzeyi kurulanmıştır. Çelik çubuklar değişmez ağırlığa gelinceye ve son ağırlık kaydedilmiştir. Boyutları ayarlanan çelik çubuklar daha önceden hazırlanmış olan boyalara daldırma yöntemi uygulanarak tek kat olarak kaplanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. 60 mm boyunda kesilen donatıların çapaklarının kesilmesi, tartım yapılması ve tek kat daldırma yöntemi uygulaması

Donatı korozyonu ölçüm aşamaları üç farklı deney yöntemi ile gerçekleştirilmiştir:

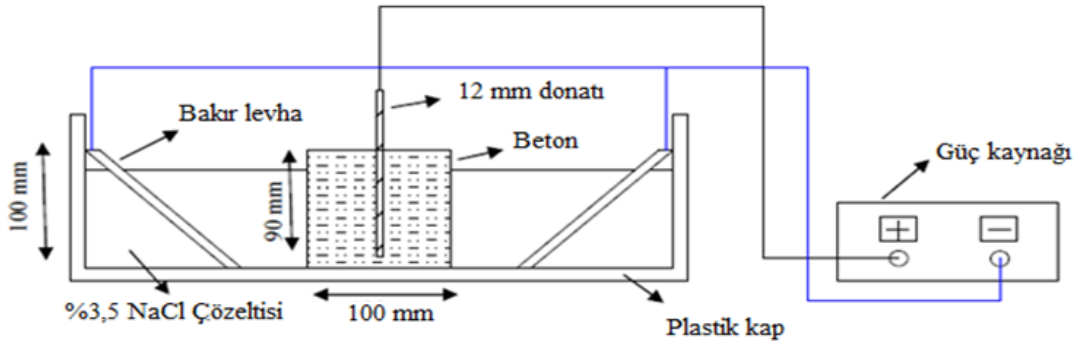
- a) Hızlandırılmış Korozyon Deneyi: Donatı çubukların korozyon direncini kısa süre içerisinde belirlemek amacıyla kullanılan yöntemdir (Abouhussien, 2014; Maaddawy vd., 2003). Beton örnekler hazırlanan %3.5 NaCl çözeltisinde sabit 30 V gerilime maruz bırakılmaktadır (Binici vd., 2012; Maaddawy vd., 2003).
- b) Kütle Kaybı Deneyi: Korozyon oluşumu nedeniyle donatı çubuklarında meydana gelebilecek ağırlık kaybı ölçüm yöntemidir (Yalçiner vd., 2012).

c) Galvanik Pil Deneyi: Kaplama yapılmış donatı çubukları arasındaki potansiyel farkın belirlendiği bir yöntemdir (Binici vd., 2012).

2.4.Yöntem

2.4.1.Hızlandırılmış korozyon yöntemi

Hızlandırılmış korozyon, elektrokimyasal yöntemlerle beton numunesi içerisinde bulunan donatı çubuğunda meydana gelebilecek korozyon oluşumuna karşı göstereceği performansı izlemek amacıyla yapılan deney yöntemidir. Bu deney yönteminin uygulanmasında



Şekil 2. Hızlandırılmış korozyon deneyi sistemi

Şekil 2’de de belirtildiği üzere 30 V gerilime sahip güç kaynağı. %3.5 NaCl solüsyonu içerisinde bakır plakalar ve deney numunesi yer almaktadır. NaCl solüsyonunun elektrolit donatının anot, katot davranış için de bakır levhaların eklenmesiyle bir devre oluşturulmuştur. Kullanılan deney yönteminde her bir örnek için 30 V sabit gerilim

uygulanmıştır. Akım – zaman grafiğinin elde edilmesi amacıyla her 4 saatlik zaman diliminde akım değerleri kaydedilerek korozyon ürünü kontrol edilmiştir. Hızlandırılmış korozyon yöntemine maruz kalan beton örneği Şekil 3’te verilmektedir.



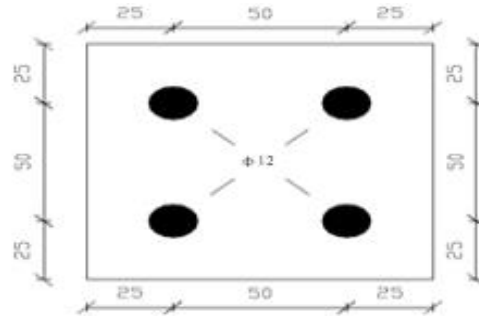
Şekil 3. Hızlandırılmış korozyon yöntemi uygulanan beton örneği

2.4.2. Kütle kaybı yöntemi

Hazırlanan donatıların yerleştirilmesi için TS 802 (2016) kullanılarak belirlenen karışım oranlarına göre numuneler hazırlanmıştır. Kalıplara yerleştirme işlemi TS EN 12390-2 'de ki esaslar dikkate alınmış ve özel bir başlık kullanılarak donatılar betonlara yerleştirilmiştir.



Şekil 4. Korozyon numuneleri için yaptırılan özel başlık ve kesit görünüşü



2.4.3. Galvanik hücre yöntemi

Çelik çubukların korozyona karşı göstermiş oldukları direnç değerlerini ölçmek amacıyla galvanik hücre metodu yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde; elektron alışverişinin gerçekleşmesi için elektrolit içine metal parçalar daldırılarak birbirlerine temas ettirilir. Temas eden parçalarda potansiyel fark meydana gelmektedir. Meydana gelen potansiyel fark ile metaller anot ve katot davranışları göstermektedirler. Bu değerler voltmetre ile kolaylıkla ölçülebilmektedir. Galvanik hücre yöntemi ile metaller arasında meydana gelebilecek potansiyel farkların ölçümü için boyutları ve çapları sırasıyla 10 cm-12 cm olan donatı çubukları oluşturulmuştur. R numunesi dışında hazırlanan donatı çubukları üzerine boya katkısı tek kat eklenmiş ve 24 saat laboratuvar şartlarında bekletilmiştir. Galvanik hücre yöntemi için hazırlanan donatı çubukları Şekil 5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Galvanik hücre yönteminde kullanılan donatı çubukları

Bakır levhalar elektrot sıvısının bulunduğu kaptaki voltmetreyle anot ve katot davranışları gösterecek biçimde bağlandı. Kaplarda bulunan %3.5 NaCl çözeltisiyle çelik çubuklar ile bakır levhalar arasında meydana gelen potansiyel fark değerleri voltmetre aracılığı ile okunarak kaydedilmiştir. Galvanik hücre metodu yönteminin donatılarda uygulanması Şekil 6'da verilmektedir.

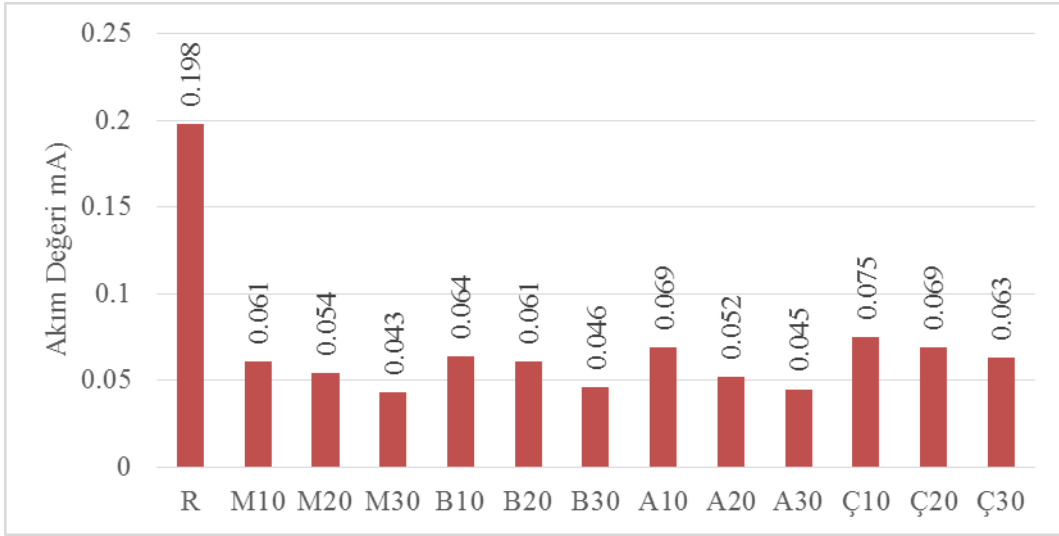


Şekil 6. Galvanik hücre yöntemi ile ölçüm yapılan donatı çubukları

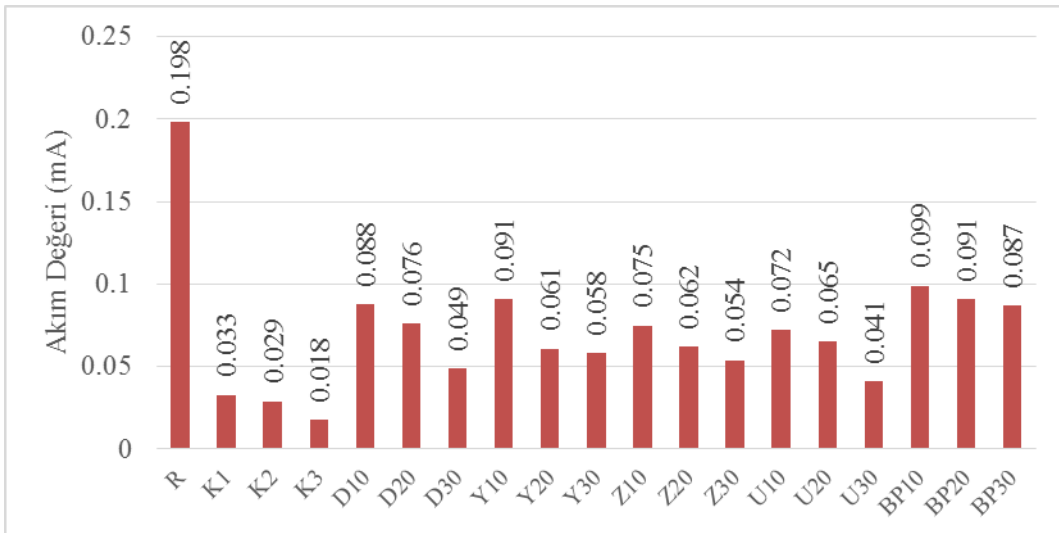
3. Bulgular

3.1. Hızlandırılmış korozyon deney sonuçları

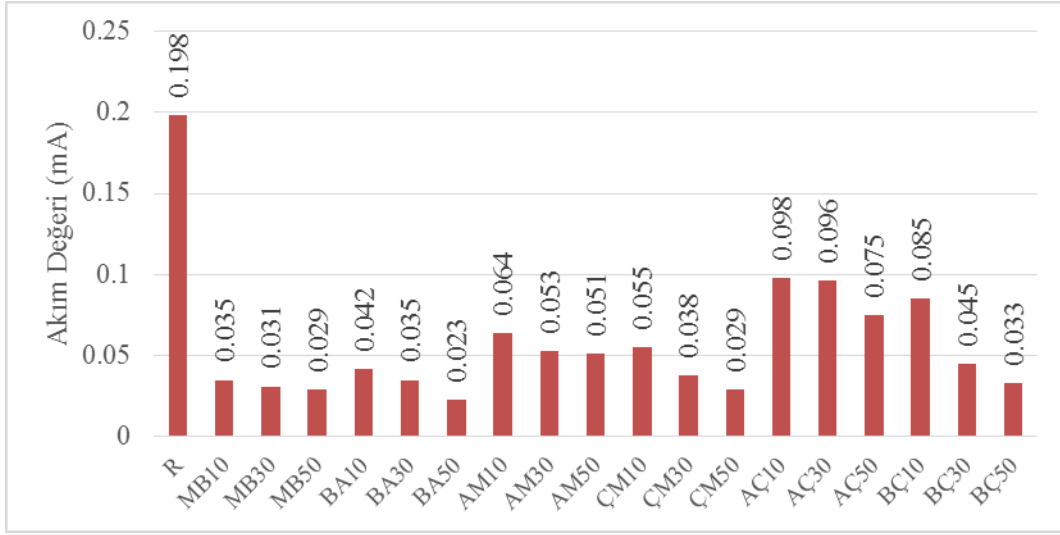
Hızlandırılmış korozyon deneyin kapsamında birçok veri elde edilmiştir. Numuneler gün içerisinde belirli saat aralıkları ile kontrol edilmiş üzerlerinden geçen akım değerleri kaydedilmiş ve değişiklikler sürekli olarak takip edilmiştir. Bu işlem 24 hafta en son numuneden korozyon ürünü elde edilinceye kadar sürdürülmüş son numunenin korozyon ürünü verisinin ardından bir sonraki ölçümle deney durdurulmuştur. Bu ölçüm değerleri Şekil 7 - Şekil 10'da verilmiştir.



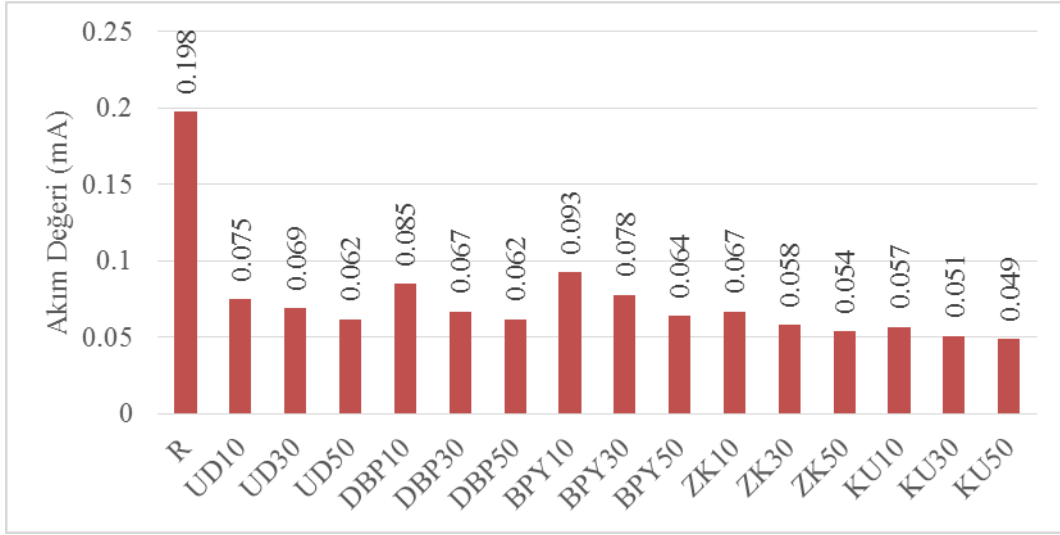
Şekil 7. Tarımsal atıklarla üretilen tekli karışımlarından geçen akım değerleri



Şekil 8. Mineral katkılarla üretilen tekli karışımlarından geçen akım değerleri



Şekil 9. Tarımsal atıklarla üretilen ikili karışımlarından geçen akım değerleri



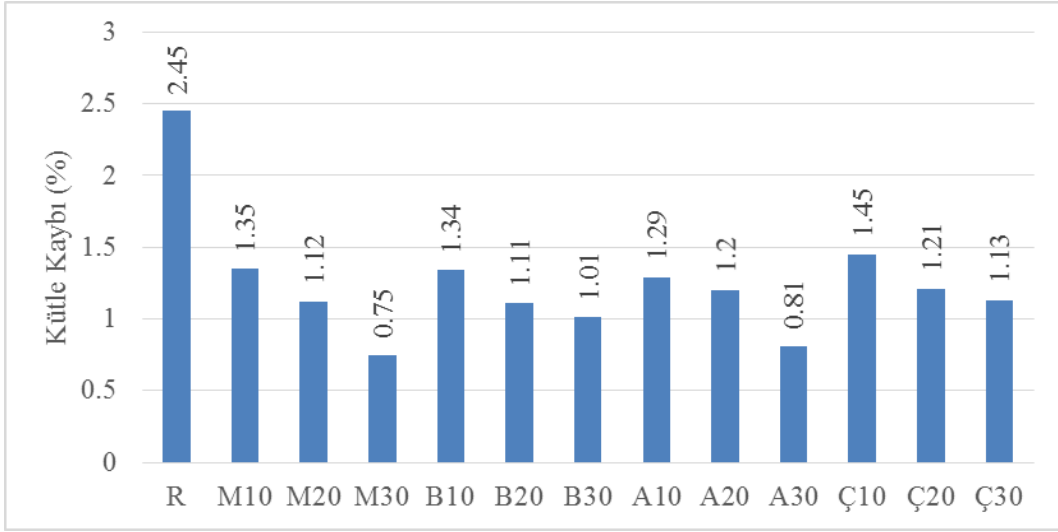
Şekil 10. Mineral katkılarla üretilen ikili karışımlarından geçen akım değerleri

Tarımsal atık külleri ve mineral katkılarla üretilen boyalarla kaplanan numunelerden geçen akım değerleri incelendiğinde referans numunesi üretilen numunelerin hepsinden genel olarak en yüksek akım değerine ulaşmıştır. Akımı değerinin diğer numunelerden fazla olması korozyon oluşum riskinin referans numunesinde olduğunun bir göstergesidir. Tarımsal atık külleri ile üretilen tekli karışımlarda en düşük akımı çeken numune M30, ikili karışımlarda ise BA50 numunesidir. Mineral katkılarla üretilen tekli karışımlarda en düşük akımı çeken numune K3, ikili karışımlarda ise KU30 ile kaplanan numunedir. Deneyin başlangıcından bitimine kadar geçen akım değerleri incelendiğinde en düşük akımı çeken KU30 numunesidir. Her bir numune üzerinden geçen akım değerleri incelendiğinde R numunesi 0.198 mA akım çekerek korozyon riski en fazla numune olarak belirlenmiştir. Tarımsal atık kül katkıları tekli karışımlarla kaplanan M30 numunesi

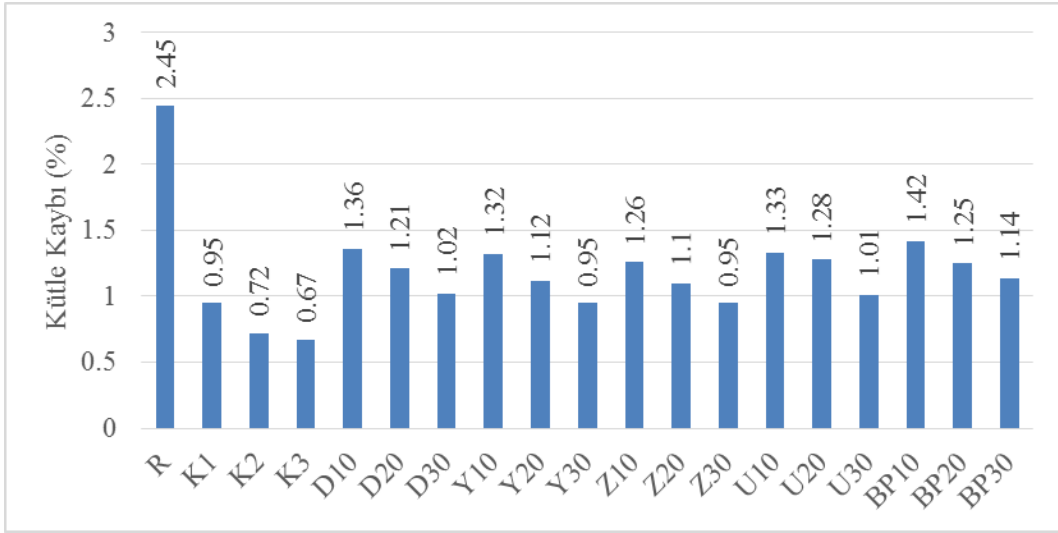
deney boyunca yaklaşık ortalama 0.043 mA, ikili karışımlarla kaplanan BA50 numunesi 0.023 mA akım çekmiştir. Mineral katkıları tekli karışımlarla kaplanan K3 numunesi deney boyunca yaklaşık ortalama 0.018 mA, ikili karışımlarla kaplanan KU30 numunesi deney boyunca yaklaşık 0.049 mA akım çekmiştir.

3.2. Kütle kaybı sonuçları

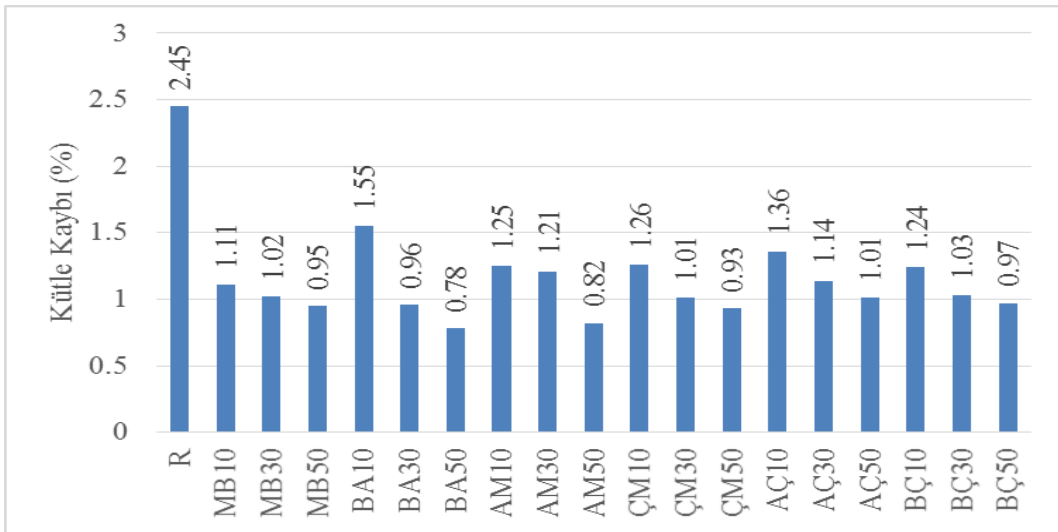
Tarımsal atıklar ve mineral katkıları kullanılarak üretilen tekli ve ikili karışım katkıları boyalarla kaplanmış çelik çubuk numunelerin korozyon değerleri elde edilmiştir. Tekli karışım katkıları boyalarla üretilen donatıların kütle kaybı değerleri Şekil 11 ve Şekil 12’de. İkili karışım katkıları boyalarla üretilen donatıların kütle kaybı değerleri de Şekil 13 ve Şekil 14’de verilmektedir.



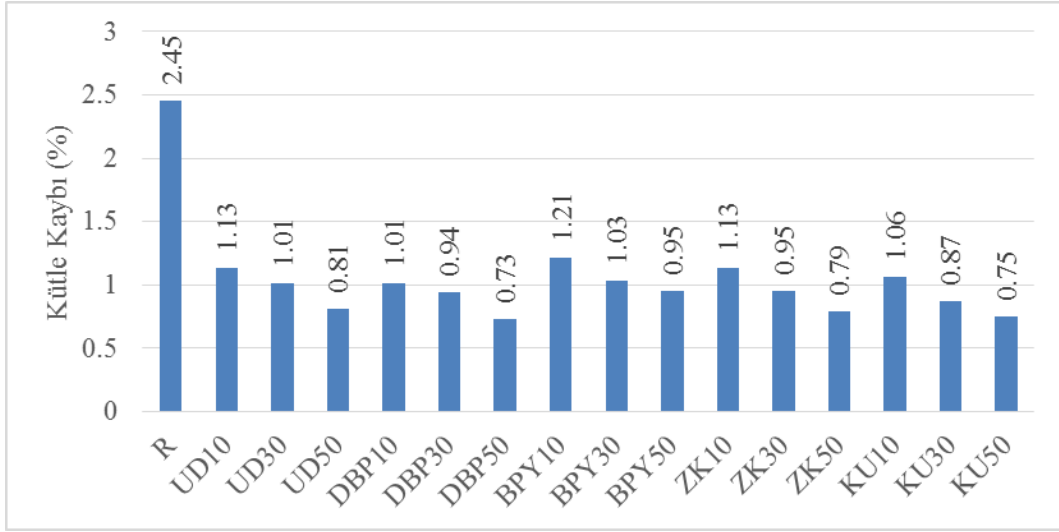
Şekil 11. Tarımsal atıklarla üretilen tekli karışımların donatı kütle kayıpları



Şekil 12. Mineral katkılarla üretilen tekli karışımların donatı kütle kayıpları



Şekil 13. Tarımsal atıklarla üretilen ikili karışımların donatı kütle kayıpları



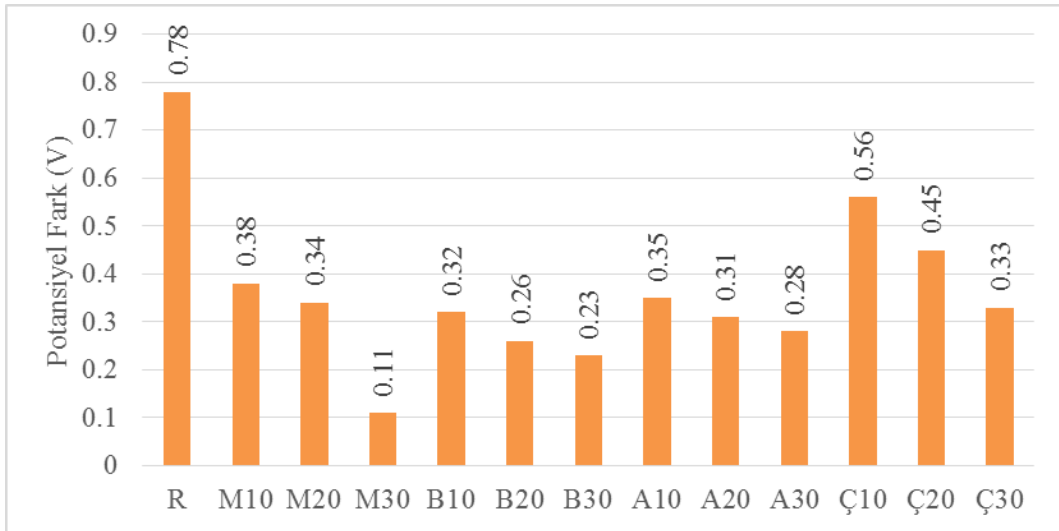
Şekil 14. Mineral katkılarla üretilen ikili karışımların donatı kütle kayıpları

Deney sonuçları incelendiğinde 180 günlük süre boyunca tuzlu su ortamında bekletilen numunelerdeki çelik çubukların korozyona uğramasında referans dışında tarımsal atık ve mineral katkı kullanılarak oluşturulan kaplama malzemesinin donatı çubukları korozyona karşı korumada etkili olduğu görülmüştür. Genel itibarıyla mineral katkı kullanılan K1, K2, K3, ZK30, KU30 ve tarımsal atık kül katkıları M30, A30, BA50 olan kaplama malzemeleriyle kaplanan numunelerde kütle kaybının düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi kolemanit katkısının ve tarımsal atık kül katkısının betonarme donatısının pasifliğini istikrarlı tutmasıdır. Bulunduğu bölgede betonun Ph seviyesinin sabit olarak kalmasına

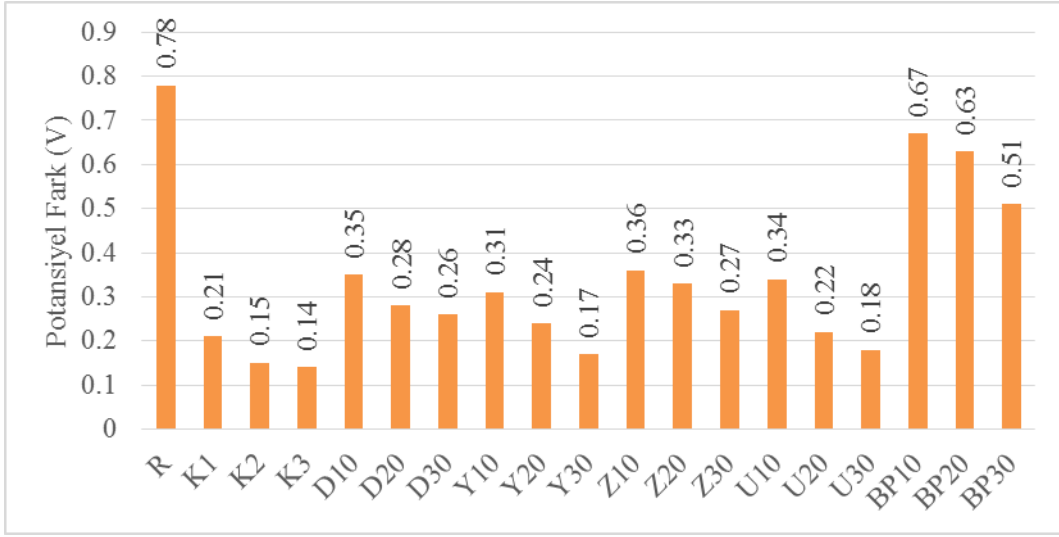
sebebi olduğundan donatılar için koruma sağlamıştır. Kolemanit katkılı örneklerin donatı çubukları üzerinde korozyon oluşumu önleyici katkı sağladığı bilinmektedir (Yalçın, 1996).

3.3. Galvanik hücre yöntemi deney sonuçları

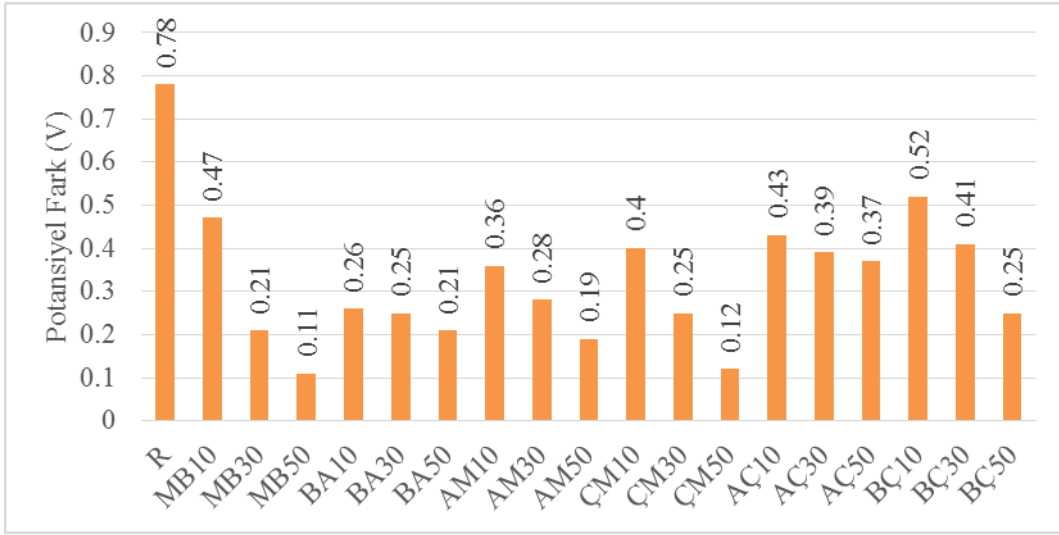
Korozyon sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan galvanik hücre yöntemi uygulaması, NaCl solüsyon katkılı kaplarda donatı çubukları ile bakır levhalar arasında oluşacak potansiyel fark değerlerinin okunmasıdır. Galvanik hücre yöntemi deneyine ait sonuçlar Şekil 15- Şekil 18'de verilmiştir.



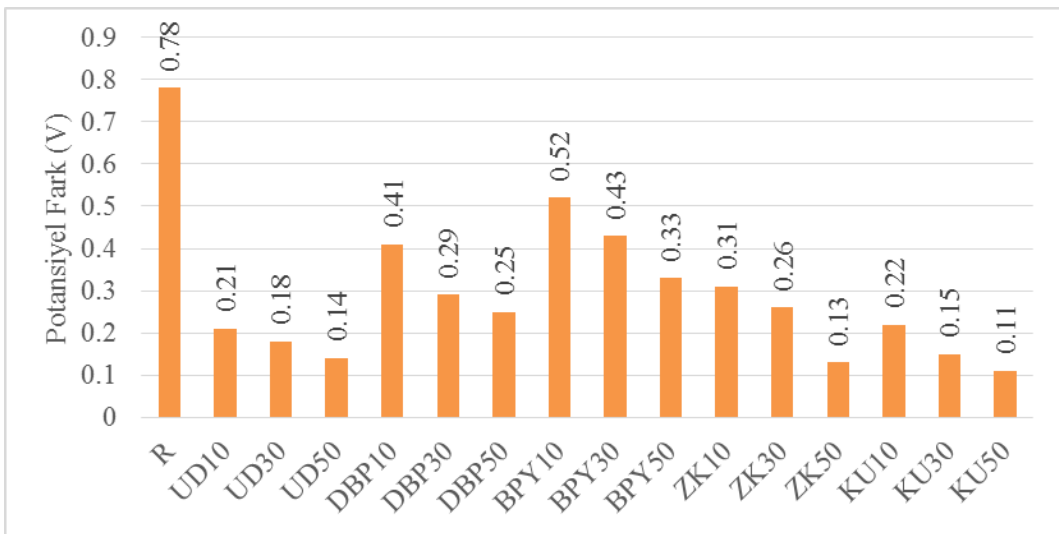
Şekil 15. Tarımsal atık kül katkıları tekli karışımların potansiyel fark değerleri



Şekil 16. Mineral katkılı tekli karışımların potansiyel fark değerleri



Şekil 17. Tarımsal atık kül katkılı ikili karışımların potansiyel fark değerleri



Şekil 18. Mineral katkılı ikili karışımların potansiyel fark değerleri

Anot davranış olarak çelik numunelerin, katot davranış olarak bakır levhaların kullanıldığı deneyde en yüksek potansiyel farkı dış yüzeyi herhangi bir kaplamaya maruz kalmayan R numunesinde görülmüştür. Bu değerlendirme ile en fazla tahribata, yani korozyona uğrayacak olan numune R numunesidir. Mineral katkıli boyalarda kolemanit ile kaplama yapılan numunenin potansiyel farkının düşük çıkması korozyon oluşumunu engelleyici etkisinin görüldüğü söylenebilir. Tarımsal atık küllerle üretilen numunelerden M30 ve B30 katkıli numunelerin potansiyel fark değerleri incelendiğinde sırasıyla 0.11, 0.23 değerleri okunmuş ve korozyon riskini azaltıcı etkisi gösterdiği söylenebilmektedir.

M ve B katkıli tarımsal küllerin potansiyel farkının düşük olmasının sebebi kimyasal analizi ile açıklanabilir. Kolemanit katkıli numunelerin korozyon oluşumuna göstermiş olduğu direnci de elektrik iletkenliğinde göstermiş olduğu yalıtkan görevi ve elektron değerlerinin düşüklüğü ile açıklanabilir. Diğer minerallerin potansiyel farklarının kolemanitten yüksek olmasının sebebi kimyasal etkilere karşı koruma sağlayabilen mineral katkılar olmalarından ileri geldiği söylenebilir. Ayrıca pomza katkıli boyalarla üretilen numunelerin sonuçlarının da iyi çıkmamasının nedeni olarak da yine pomzanın boşluklu yapısı ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 19. Donatı çubuklarının korozyon oluşumları

4. Tartışma ve sonuçlar

Literatürde tarımsal atıkların ve minerallerin kaplama yöntemi olarak korozyona karşı dirençlerinin araştırılması sınırlı sayıdadır. Bu ihtiyacın karşılanması amacıyla mısır, buğday, ayçiçeği, çınar yaprağı tarımsal atıkları ile kolemanit, diatomit, yüksek fırın cürufu, zeolit, uçucu kül ve bazaltik pomza katkılarının tekli ve ikili karışımları ile üretilen boya malzemesi çelik donatı üzerine kaplama olarak uygulanmış ve ayrıca bu katkılar kullanılarak beton örnekleri üretilmiş korozyona karşı göstermiş olduğu direnç araştırılmış ve performansları değerlendirilmiştir.

•Hızlandırılmış korozyon yöntemine göre. Akım çekme sonuçlarına göre korozyon oluşum riskleri belirlenmiştir. Beton içerisine gömülü yüzeyi kaplı numunelerin akım çekme değeri yüksek olanlar korozyon oluşumuna uğrama riski en fazla, akım çekme değeri düşük olan numuneler ise korozyon oluşumuna uğrama riski az olarak belirlenmiştir. Tarımsal atık küller ile üretilen tekli karışımlarda % 0.043 değeri ile en düşük akımı çeken korozyon oluşum riski en az numune M30, ikili karışımlarda % 0.023 oranına sahip en düşük

akımı çeken korozyon oluşum riski en az numune ise BA50 numunesidir. Mineral katkılarla üretilen tekli karışımlarda % 0.018 değeri ile en düşük akımı çeken korozyon oluşum riski en az numune K3, ikili karışımlarda ise % 0.051 değeri ile en düşük akımı çeken korozyon oluşum riski en az numune KU30 ile kaplanan numunedir. R dışındaki diğer numuneler ortalama akım çekme değerleri göstermiş ve korozyon oluşum riskleri R numunesine göre düşük çıkmıştır

•Kütle kaybı yöntemine göre; 180 günlük süre boyunca tuzlu su ortamında bekletilen numunelerdeki çelik çubukların korozyona uğramasında referans dışında tarımsal atık ve mineral katkılar kullanılarak oluşturulan kaplama malzemesinin donatı çubukları korozyona karşı korumada etkili olduğu görülmüştür. Tarımsal atık küller ile üretilen tekli karışımlarda % 0.75 değeri ile en düşük kütle kaybı gösteren numune M30 katkıli numune olurken, ikili karışımlarda % 0.78 ile en düşük kütle kaybı BA katkıli numune olmuştur.

Mineral katkılarla üretilen tekli karışımlarda % 0.67 değeri ile en düşük kütle kaybı gösteren numune K3 katkıli numune olurken, ikili karışımlarda % 0.73 değeri ile en düşük kütle kaybı

gösteren numune DBP50 katkılı numune olmuştur. R dışındaki kaplama malzemeleriyle kaplanan numunelerde kütlece kaybın düşük, korozyon oluşum riskinin az olduğu belirtilmiştir.

•Galvanik pil deneyinde, en yüksek potansiyel farkı dolayısıyla korozyon oluşum riski dış yüzeyi herhangi bir kaplamaya maruz kalmayan R referans numunesinde görülmüştür. Tarımsal atık küller ile üretilen tekli karışımlarda % 0.11 değeri ile en düşük potansiyel fark oranına sahip korozyona uğrama riski en az M30 numunesi olurken, ikili karışımlarda %0. 11 değeri ile en düşük potansiyel fark oranına sahip korozyona uğrama riski en az MB50 katkılı numune olmuştur. Mineral katkılarla üretilen tekli karışımlarda % 0.14 değeri ile en düşük potansiyel fark oranına sahip korozyona uğrama riski en az numune K3 katkılı numune olurken, ikili karışımlarda % 0.11 değeri ile en düşük potansiyel fark oranına sahip korozyona uğrama riski en az numune KU50 katkılı numune olmuştur.

•Yapılan tüm korozyon araştırmalarına göre mısır, buğday, ayçiçeği, çınar yaprağı tarımsal atıkları ile kolemanit, diatomit, yüksek fırın cürufu, zeolit, uçucu kül ve bazaltik pomza katkılarının tekli ve ikili karışımları ile üretilen boya malzemeleri ve beton örneklerinin, korozyon oluşum riskini azaltıcı bir etki yaptığı bulunmuştur. Aynı zamanda tarımsal atık küllerin ve farklı mineral katkıların geçirimsiz beton üretiminde kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Ayrıca, çalışmada kullanılan tarımsal atıklar ve mineral katkılar elde edilmesi kolay ve bol miktarda bulunan malzemelerdir. Farklı açılardan bakıldığı zaman yeni istihdam alanlarının oluşturulabilmesine fikir verecek bir çalışmadır. Korozyon önlemede kullanılan kaplama yöntemi teknolojik açıdan, ekonomik açıdan vb. değerlendirildiğinde diğer korozyon önleme yöntemleri arasında kullanım kolaylığı, uygulanabilirliği bakımından en avantajlı yöntemlerden birisidir. Sonuç olarak tarımsal atıklar ve diğer mineral katkılar kullanılarak üretilen kaplama malzemelerinin yenilikçi, alternatif, doğa dostu korozyonu önlemede etkili malzemeler olduklarını göstermişlerdir.

Kaynaklar

- Abouhussien, A. A. and Hassan, A. A. A. (2014). Experimental and empirical time to corrosion of reinforced concrete structures under different curing conditions. *Advanced. Civil Engineering*. 1 – 9. <https://doi.org/10.1155/2014/595743>
- Aksogan, O., Binici, H. and Ortlek., E. (2016). Durability of concrete made by partial

replacement of fine aggregate by colemanite and barite and cement by ashes of corn stalk wheat straw and sunflower stalk ashes. *Construction and Building Material*, 106. 253–263. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.102>

- Badar, M. S., Patil, K., Bernal, A. S., Provis, L. J. and Allouche., N. E. (2014). Corrosion of steel bars induced by accelerated carbonation in low and high calcium fly ash geopolymer concretes. *Construction and Building Materials*, 61. 79–89.
- Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün., H. (2002). Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). 1. Baskı. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, 282-298.
- Binici, H., Aksogan, O. and Durgun., M. Y. (2012). Corrosion of basaltic pumice. Colemanit, barite and blast furnace slag coated rebars in concretes. *Construction and Building Materials*, 37, 629–637. [https://doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.07.030](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.030)
- Binici, H., Zengin, H., Zengin, G. and Yaşarer, F. (2008). The use of pumice as a coating for the reinforcement of steel against corrosion and concrete abrasions. *Corrosion Science*. 50. 2140–2148.
- Çil, İ. (2006). Betonarme donatısında elektriksel yöntemlerle korozyon ölçümü. *DEU Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8. 59-63.
- Coşgun, T. (2003). *İstanbul'da deprem sonrası yapılan incelemelerde karşılaşılan korozyon hasarı üzerine bir inceleme*. 5.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Türkiye.
- Demirbaş, A., Öztürk, T. and Karataş, F. O. (2000). Long-term wear on outside walls of building sulphur dioxide corrosion. *Cement Concrete Research*. 31. 3–6.
- Doğan, M. (2000). Effects of İzmit and Düzce Earthquakes in Eskişehir. *İTÜ*.
- Dorum, A. ve Yıldız, K. (2011). Yüksek dayanımlı betonlarda pomza ve zeolit kullanılabirliği. *İMO Teknik Dergi*. 345. 5335 – 5340.
- Ergi, E., Bilgin, S. G., Zeybek, M. S. ve Asan., A. (2007). *Endüstriyel Atık Katkılı Çimentoların Beton Dayanımı ve Donatı Korozyonuna Etkileri*. 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu. Ankara.
- Eskandari, H., Vaghefi, M. and Kowsaric., K. (2015). Investigation of Mechanical and Durability Properties of Concrete Influenced by Hybrid Nano Silica and Micro Zeolite Procedia.

- Materials Science*, 11. 594 – 599. [https://doi:10.1016/j.mspro.2015.11.084](https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.11.084)
- Gerengi, H., Kurtay, M. and Durgun, H. (2015). The effect of zeolite and diatomite on the corrosion of reinforcement steel in 1 M HCl Solution. *Results in Physics*, 5. 148–153. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2015.05.003>
- Khatri, R. P., Sirivivatnanon, V. and Heeley, P. (2004). Critical polarization resistance in service life determination. *Cement and Concrete Research*, 34. 829–837. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.09.019>
- Küçük, B. (2000). Betonun Dayanım ve Durabilitesine Sağlayan Parametreler. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1). 79-85.
- Maaddawy, T.A. and Soudki, K. A. 2003. Effectiveness of impressed current technique to simulate corrosion of steel reinforcement in concrete. *Journal of Civil Engineering*, 15(1). 41–47. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0899-1561\(2003\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0899-1561(2003))
- Najimi, M., Sobhani, J., Ahmadi, B. and Shekarchi, M. (2012). An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan. *Construction and Building Materials*, 35. 1023–1033. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.038>
- Oyedepo, O. J., Oluwajana, S. D. and Akande, S. P. (2014). Investigation of properties of concrete using sawdust as partial replacement for sand. *Civil Environmental Research*, 6 (2). 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.ijse.2016.06.003>
- Pavlik, V. (1996). Corrosion of Hardened Cement Paste by Acetic and Nitric Acids. PART III: Influence of Water/Cement Ratio. *Cement and Concrete Research*, 26(3). 475-490. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(96\)85035-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(96)85035-6)
- Pavlik, V. and Uncik, S. (1997). The rate of corrosion of hardened cement pastes and mortars with additive of silica fume in acids. *Cement and Concrete Research*, 27(11). 1731-1745. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)82702](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)82702)
- Pavlik, V. (2000). Effect of carbonates on the corrosion rate of cement mortars in nitric acid. *Cement and Concrete Research*, 30. 481-489. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00201-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00201-5)
- Sakr, K. (2005). Effect of cement type on the corrosion of reinforcing steel bars exposed to acidic media using electrochemical techniques. *Cement and Concrete Research*, 35. 1820-1826. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.015>
- Sancak, E., ve Çoban, Ö. (2014). Olivin atıklarının betonda kullanımının betonarme donatısının korozyon özelliklerine etkisi. *S.Ü. Müh. Bilim ve Teknik Dergisi*, 2(4). <https://doi.org/10.15317/Scitech.2014410339>
- Sisman, C. B. and Gezer, E. (2011). Effects of rice husk ash on characteristics of the briquette produced for masonry units. *Scientific Research and Essays*, 6(4). 984-992. <https://doi.org/10.5897/SRE10.1136>
- Turkish Standards Institute. (2016). *Design of Concrete Mixes*. (TS 802) Ankara, Turkey.
- Uysal, M. (2006). *CrN. Tin kaplanmış ve kaplanmamış AISI 304 paslanmaz çeliğinin korozyon özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Vesely, D., Kalendova, A. and Kalenda, P. A. (2010). Study of diatomite and calcined kaoline properties in anticorrosion protective coatings. *Progress in Organic Coatings*, 68. 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2010.02.007>
- Yalçın, S. (1996). *The Inhibitive Effect of Colemanite Added Cement on the Corrosion of Reinforcing Steels*. M.Sc. Thesis. Gazi University. Institute of Science and Technology. Ankara
- Yalçın, H. ve Koç, T. (1999). Katodik Koruma, *Palme Yayınları*, 1(2). 269-287.
- Yalçın, S. (1996). *Kolemanitli çimentoların betonarme demirlerinin korozyonu üzerine inhibitif etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yalciner, H. Eren, O. and Sensoy, S. (2012). An experimental study on the bond strength between reinforcement bars and concrete as a function of concrete cover. Strength and corrosion level. *Cement and Concrete Research*, 42. 643–655. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.01.003>
- Yeau, K. Y. and Kim, E. K. (2005). An experimental study on corrosion resistance of concrete with ground granulate blast - furnace slag. *Cement and Concrete Research*, 35. 1391 – 1399. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.11.010>
- Yıldız, K. and Uğur, O. L. (2009). Examination of durability of high performance concrete (hpc) that has been subjected to MgSO₄ and NaCl corrosion against freezing and thawing. *Scientific Research and Essay* 4 (9). 929-935.
- Yıldız, K. ve Demirel, C. (2014). MgSO₄ etkisine maruz rijit yol kaplamalarında pomza ve zeolit katkılı betonun kullanılabilirliği. *Politeknik Dergisi*, 17(1). 23 – 29. <https://doi.org/10.2339/2014>

Effect of nano type and slag replacement level on cement mortars

Nano tipi ve granüle yüksek fırın cürufu ikame oranının çimento harçlarına olan etkisi

Mem ÇİFTÇİ^{1,a}, Serhat DEMİRHAN^{*1,b}

¹ Batman Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 72060, Batman

• Geliş tarihi / Received: 25.01.2021 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 04.03.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 09.03.2021

Abstract

In the current experimental study, fresh and hardened properties of high-volume ground granulated blast furnace slag blended cements were investigated. For this purpose, fifty-eight cement mortars satisfying minimum requirements of TS EN 197-1 were produced and nano calcite, nano SiO₂ and nano Al₂O₃ were replaced by the cement up to a replacement level of 4% (which were 1%, 2%, 3% and 4%). First of all, the mechanical properties of mixtures were examined at the curing ages of 2, 7 and 28 days and then standard consistency and setting times of eight selected mixtures were determined. Test results showed that increase in the replacement level of slag was resulted in decrease in early age compressive strength. As a result of both seeding (nucleation) and chemical effect, decrease in setting time and enhancement in early age strength development of mixtures including nanomaterials were observed. Even though increase in replacement of nanomaterials resulted in a slight decrease in compressive strength of the mixtures, the best enhancements were obtained with the replacement level of 1%. As a result of this, minimum requirements of CEM III-C 32.5 were achieved in the mortars including CEM III-C type cement with a slag replacement level of 81% and modified by 1% of nanomaterial.

Keywords: Cement mortar, Compressive strength, Ground granulated blast furnace slag, Nanomaterial, Setting time

Öz

Mevcut deneysel çalışmada, yüksek hacimde granüle yüksek fırın cürufu içeren harçların taze ve sertleşmiş özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, TS EN 197-1'e göre minimum şartları sağlayan ve %1, %2, %3 ve %4 ikame oranlarında nano kalsit, nano SiO₂ ve nano Al₂O₃ ihtiva eden toplamda 58 karışım tasarlanmıştır. İlk olarak tüm karışımların 2, 7 ve 28. Günlerde mekanik özellikleri incelenmiş, daha sonra seçilen 8 karışım ile harmanlanmış çimento pastaları hazırlanarak standart kıvam suyu ve priz süreleri tespit edilmiştir. Test sonuçları, yüksek hacimlerde granüle yüksek fırın cürufu kullanımının erken yaş dayanım düşüşü ile neticelendiğini göstermiştir. Çekirdeklenme ve kimyasal etkinin bir sonucu olarak nano malzemelerin kullanıldığı karışımların priz sürelerinde kısalma ve erken yaş basınç dayanımı gelişimlerinde iyileşme gözlemlenmiştir. Nano malzeme ikame oranı artıkça basınç dayanımlarında kısmî de olsa bir düşüş gözlemlenirken dayanım gelişimine en yüksek katkının %1-2 arası ikame oranlarında gözlemlendiği tespit edilmiştir. Nano SiO₂, Nano Al₂O₃ ve nano kalsit kullanımıyla hem çekirdeklenme hem de kimyasal etkinin bir netice olarak harçların performans özelliklerinde belirgin iyileşmeler saptanmıştır. %81 oranında granüle yüksek fırın cürufunun ikame edildiği CEM III-C tipli katkıli çimentolarda tüm nano tipleri için %1 nano malzeme kullanımıyla CEM III-C 32.5 elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Çimento harcı, Basınç dayanımı, Yüksek fırın cürufu, Nano malzeme, Priz süresi

*^b Serhat DEMİRHAN; serhat.demirhan@batman.edu.tr, Tel: (0488) 217 41 73, orcid.org/0000-0001-5448-9495

^a orcid.org/0000-0002-0060-2621

1. Introduction

In addition to the high energy consumption (Rashad, 2014) in the production of ordinary Portland cement used as a binder in concrete, approximately one cubic meter of carbon dioxide gas is released into the atmosphere in each ton of clinker production, thus cement is globally responsible for about 7% of the annual CO₂ emission (Benhelal et al., 2013; Li et al., 2013). Therefore, since the carbon footprint of cement is very high, the most effective approach to reduce these ecological harmful effects of cement is to partially replace the cement with industrial by-products such as blast furnace slag, fly ash and silica fume (Shaikh and Hosan, 2019; Rashad 2015). Although the use of fly ash and blast furnace slag in high volume has improved workability and long-term mechanical and durability properties and also decrease in heat of hydration, the pozzolanic reactions with calcium hydroxide from cement hydration are very slow and thus early-age mechanical and durability properties are much lower quality than that of normal concrete (Elchalakani et al., 2014; Demirboga et al., 2004).

Due to both amorphous and high hydraulic cementing property, Blast Furnace Slag (S) has been used as a binding material in the cement industry for many years (Ozbay et al., 2016; Kumar et al., 2008). Flower and Sanjayan (Flower and Sanjayan, 2007) showed that a 22% reduction in CO₂ emission would be achieved as a result of 40% replacement of cement by slag for conventional concrete. In addition, the use of moderate replacement levels of slag has a positive effect on both the strength and durability properties of concrete (Bakharey, 2005; Rowles and O'connor 2003). Although slag replacement level could be tailored up to 95% according to TS EN 197-1 (TS EN 197-1, 2012), it cannot be used at high rates in slag blended types of cement due to its low heat of hydration and low early-age strength development (Zhao et al., 2020-a; Zhuang and Wang, 2021). It was suggested by Li et al. (Li et al., 2015) that the rate of slag usage in cement-based materials should not exceed 30%. Oner and Akyuz (Oner and Akyuz, 2007) revealed that the strength development of concrete is restricted if the slag replacement level exceeds 55%.

Recently, the use of nanomaterials in cement-based materials has become the most interesting research area (Zhao et al., 2020-b; Liu et al., 2020; Wu et al., 2020), and although many studies have been carried out so far, experimental studies are still ongoing in this area. Among all nanomaterials,

nano silica (NSI), nano CaCO₃ (NCC) and nano alumina (NA) are used more widely because they improve both mechanical and microstructural properties of cement-based composites (Abhilash et al., 2021; Orakzai, 2021; Poudyal et al., 2021). Since they have a very high surface area to volume ratio, they significantly affect the hydration properties of cement. Depending of the type of nanomaterial being used, they exhibit different effects in cement chemistry and these effects can be categorized under three headings: (i) nucleation effect, (ii) chemical effect, and (iii) dilution effect (Wang et al., 2018; Cao et al., 2019). These effects vary in accordance with nano type, clinker usage rate, mineral admixture type and/or nanomaterial usage rate. For example; the chemical effect is more pronounced in the use of NCC while the nucleation effect is more effective in the presence of NS and NA (Ciftci, 2020). Moreover, this was resulted in selecting an appropriate type of nanomaterials in the presence of the different type and replacement level of mineral admixtures.

The main purpose of the current experimental study is to produce an eco-friendly cement type in which different nanomaterials and ground granulated blast furnace slag were replaced by cement up to 4% and 81%, respectively. For this aim, S, NS, NA and NC have been used in the tailored mixtures in order to develop properties of high-volume blast furnace slag blended types of cement (including the different amounts of slag) satisfying minimum requirements of TS EN 197-1. Both fresh (consistency and setting times) and hardened properties (compressive strength) of the mixtures containing NS, NA and NC and varying rates of slag (up to replacement level of %81) were examined. For this purpose, 58 mixtures have been prepared in accordance with TS EN 197-1 and then the compressive strength of these mixtures for curing ages of 2, 7 and 28 days has been determined. In addition, 8 mixtures from 58 tailored mixtures were selected and then consistency, initial and final setting times were determined according to TS EN 196-3 (TS EN 196-3, 2017).

2. Material method

Ordinary Portland Cement (OPC) CEM I 42.5 (which was produced at the laboratory by grinding the clinker and 5% gypsum up to enough fineness) satisfying minimum requirements of TS EN 197-1 was used in the production of cement mortars while ground granulated blast furnace slag (S) whose specific gravity of the slag was 3.21 g/cm³ and the Blaine specific surface was 4250 cm²/g was

preferred as mineral admixture. In addition, commercially available NSI, NA and NC. Standard CEN Reference Sand with a maximum grain size of 2 mm satisfying requirements of TS EN 196-1 (TS EN 196-1, 2016) and tap water were used. Both physical properties and chemical compositions of binders and nanomaterials are given in Table 1. SEM images of OPC, S, NS and NC are given in

Figure 1 (OPC and S) and Figure 2 (NS and NC), respectively. In the current experimental study, a high-water-reducing chemical admixture (HWRA) of Glenium 51 produced by SIKA Construction Chemicals was used. The specific gravity of HWRA, which is a chemical additive in liquid form, is approximately 1.05 g/cm³.

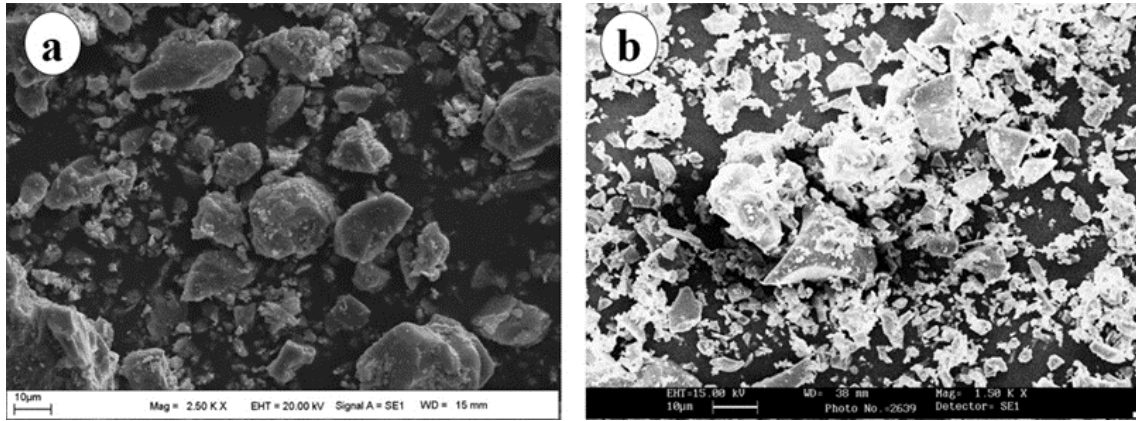


Figure 1. SEM images of binders (a) OPC and (b) S (Demirhan, 2017)

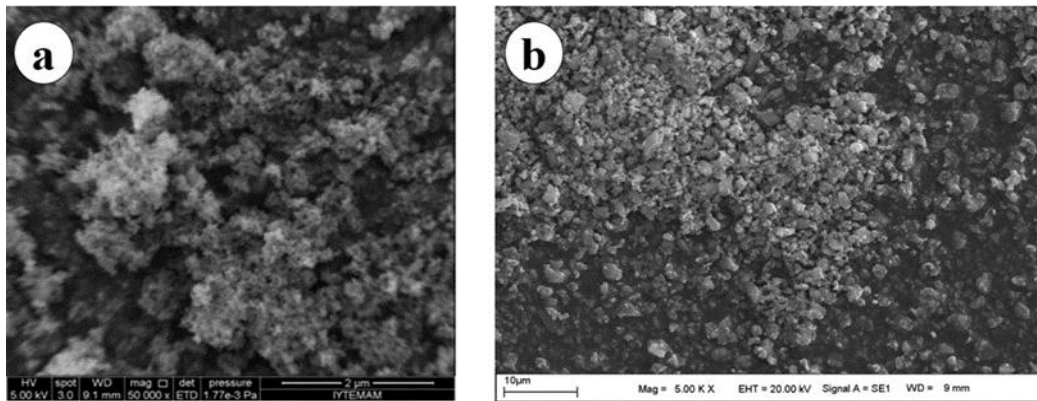


Figure 2. SEM images of (a) NS and (b) NC

Table 1. Chemical composition and physical properties of Binders and Nanomaterials

Chemical Composition (%)	OPC	S	NC	NS	NA
CaO	61.36	37.43	56.01	1.10	0.00
SiO ₂	20.41	39.62	0.63	86.99	0.10
Al ₂ O ₃	5.34	10.62	0.13	1.19	98.48
Fe ₂ O ₃	3.10	1.40	0.22	0.53	0.43
MgO	3.48	6.11	0.54	0.11	0.54
SO ₃	2.57	0.79	0.04	0.21	0.06
Na ₂ O	0.37	0.27	0.03	0.66	0.04
K ₂ O	0.94	0.96	0.01	0.01	0.00
Loss of Ignition	2.15	2.80	42.39	9.20	0.35
Physical Property					
Specific gravity, g/cm ³	3.24	2.9	-	-	-
Blaine Surface Area, cm ² /g	3092	4250	-	-	-
BET surface area, cm ² /g	-	-	74	1623	325

In total, 58 different cement mortar mixtures including different amounts of slag and nano sized

materials were cast for the experimental study. Water/Binder (w/b) was kept constant as 0.5 since

it is standard in accordance with TS EN 197-1 for all cement mortars. The standard mixture proportions of the 58 mixtures are given in Tables 2-5. All mortars are showed with notation including both letters and numbers which indicate percentage of ingredients. For instance, in the ninth mixture, which is designated as CEM III-B_NSI_3 means that cement type is CEM III-B including NSI where it was used at a replacement level of 3. All of the 58 cement mortars were prepared in accordance with the procedure given in TS EN 197-1 standard where total binder (cement and/or slag and/or nano) of 450 g and CEN reference sand of 1350 g and water of 225 g were mixed and standard mortars were cast. All were tested for compressive strength test at the curing ages of 2, 7 and 28 days. Since the main purpose of the current study is to monitor and investigate the developments in the early age properties of cement mortars, only curing ages up to 28 days were taken

into consideration. In addition, before fresh mortars were poured into the standard molds (40x40x160 mm) standard test method for flow of hydraulic cement mortar described in ASTM C1437 (2015) was applied to fresh mortars and slump flows diameters were determined. For the determination setting times as a fresh property, only 8 mixtures given in Table 6 were selected from 58 mixtures since lots of mixtures were included high volume of slag up to 81% of total binder which would result in higher setting times (Zhuang and Wang, 2021). The testing procedure of setting times was conducted according to TS EN 196-3. Therefore, in order to determine the fresh properties of the prepared blends, standard consistency, initial and final setting times were determined for 8 blends selected from 58 blends. 58 blends, produced in terms of hardened properties, were subjected to compressive strength test at the curing ages of 2, 7 and 28 days.

Table 2. Mixture proportions of CEM I including different nanomaterial types

Mix #	Mix ID	Cement Type	Binder, %		Nanomaterial, %			HRWA, %	Flow, cm
			OPC	S	NC	NSI	NA		
1	CEM I	CEM I	100	0	0			0	16.5
2	CEM I_NC_1		99	0	1	0	0	0	19.5
3	CEM I_NC_2		98	0	2	0	0	0	18.7
4	CEM I_NC_3		97	0	3	0	0	0	18.8
5	CEM I_NC_4		96	0	4	0	0	0	17.2
6	CEM I_NAL_1		99	0	0	0	1	0.40	17.5
7	CEM I_NAL_2		98	0	0	0	2	0.45	17.6
8	CEM I_NAL_3		97	0	0	0	3	0.50	16.6
9	CEM I_NAL_4		96	0	0	0	4	0.55	16.5
10	CEM I_NSI_1		99	0	0	1	0	0.40	17
11	CEM I_NSI_2		98	0	0	2	0	0.57	16.2
12	CEM I_NSI_3		97	0	0	3	0	1.11	16
13	CEM I_NSI_4		96	0	0	4	0	1.78	17.5

Table 3. Mixture proportions of CEM III-A, B and C including NC

Mix #	Mix ID	Cement Type	Binder, %		Nano Type, %	HRWA, %	Flow, cm
			OPC	S	NC		
14	CEM III-A	CEM III-A	64	36	0	0	19.5
15	CEM III-A_NC_1		63	36	1		19.8
16	CEM III-A_NC_2		62	36	2		20.1
17	CEM III-A_NC_3		61	36	3		20.3
18	CEM III-A_NC_4		60	36	4		20.2
19	CEM III-B	CEM III-B	34	66	0		18.5
20	CEM III-B_NC_1		33	66	1		18.7
21	CEM III-B_NC_2		32	66	2		18.7
22	CEM III-B_NC_3		31	66	3		18.9
23	CEM III-B_NC_4		30	66	4		19
24	CEM III-C	CEM III-C	19	81	0		18
25	CEM III-C_NC_1		18	81	1		18.4
26	CEM III-C_NC_2		17	81	2		18.5
27	CEM III-C_NC_3		16	81	3	18.8	
28	CEM III-C_NC_4		15	81	4	19.1	

Table 4. Mixture proportions of CEM III-A, B and C including NA

Mix #	Mix ID	Cement Type	Binder, %		Nano Type, %	HRWA, %	Flow, cm
			OPC	S	NA		
29	CEM III-A	CEM III-A	64	36	0	0	19.5
30	CEM III-A_NAL_1		63	36	1	0	19.5
31	CEM III-A_NAL_2		62	36	2	0	19.3
32	CEM III-A_NAL_3		61	36	3	0	18.2
33	CEM III-A_NAL_4		60	36	4	0.04	17.9
34	CEM III-B	CEM III-B	34	66	0	0	18.5
35	CEM III-B_NAL_1		33	66	1	0	18.5
36	CEM III-B_NAL_2		32	66	2	0	18
37	CEM III-B_NAL_3		31	66	3	0	17.2
38	CEM III-B_NAL_4		30	66	4	0	16.7
39	CEM III-C	CEM III-C	19	81	0	0	18
40	CEM III-C_NAL_1		18	81	1	0	17.4
41	CEM III-C_NAL_2		17	81	2	0	17
42	CEM III-C_NAL_3		16	81	3	0.04	16.3
43	CEM III-C_NAL_4		15	81	4	0.13	17

Table 5. Mixture proportions of CEM III-A, B and C including NS

Mix #	Mix ID	Cement Type	Binder, %		Nano Type, %	HRWA, %	Flow, cm
			OPC	S	NSI		
44	CEM III-A	CEM III-A	64	36	0	0.00	19.5
45	CEM III-A_NSI_1		63	36	1	0.00	18
46	CEM III-A_NSI_2		62	36	2	0.11	17.7
47	CEM III-A_NSI_3		61	36	3	0.42	17.8
48	CEM III-A_NSI_4		60	36	4	0.82	18.1
49	CEM III-B	CEM III-B	34	66	0	0.00	18.5
50	CEM III-B_NSI_1		33	66	1	0.00	17.5
51	CEM III-B_NSI_2		32	66	2	0.18	16.7
52	CEM III-B_NSI_3		31	66	3	0.56	16.8
53	CEM III-B_NSI_4		30	66	4	1.11	16.7
54	CEM III-C	CEM III-C	19	81	0	0.00	18
55	CEM III-C_NSI_1		18	81	1	0.00	16.7
56	CEM III-C_NSI_2		17	81	2	0.33	16.3
57	CEM III-C_NSI_3		16	81	3	0.71	16.3
58	CEM III-C_NSI_4		15	81	4	1.29	16.7

Table 6. Mixture proportions of mixtures chosen for consistency and setting times

Mix #	Mix ID	Cement Type	Binder, %		Nanomaterial, %		
			OPC	S	NC	NS	NA
1	CEM I	CEM I	100	0	0		
2	CEM I_NC_1		99	0	1	0	0
6	CEM I_NAL_1		99	0	0	0	1
10	CEM I_NSI_1		99	0	0	1	0
14	CEM III-A	CEM III	64	36	0		
15	CEM III-A_NC_1		63	36	1	0	0
30	CEM III-A_NAL_1		63	36	0	0	1
45	CEM III-A_NSI_1		63	36	0	1	0

3. The research findings and discussion

3.1. Compressive strength

In order to avoid confusion as many parameters were examined within the scope of the current experimental study, this section will be discussed under the titles: (i) The effect of slag replacement level, (ii) Effect of nanomaterial type and (iii) Effect of nanomaterial replacement level.

i. The effect of slag replacement level

Within the scope of the present study, of the determined 58 blends, slag replacement levels for each blend group were 0% (for CEM I), 36% (for CEM III-A), 66% (for CEM III-B) and 81% (for CEM III-C). Compressive strength test results of

cement mortars for curing ages of 2, 7 and 28 days are given in Figure 3. As seen in Figure 3, as the replacement level of slag increased, a decrease/reduction was observed in both early and later age strength developments. Although slag has a partial hydraulic binding property, its pozzolanic property is more effective. $F_{CEM\ III-A}/F_{CEM\ I}$, $F_{CEM\ III-B}/F_{CEM\ I}$ and $F_{CEM\ III-C}/F_{CEM\ I}$ ratios were obtained as 0.85, 0.76 and 0.64, respectively, according to the standard compressive strength of 28 days. This shows that as slag replacement level increased, a significant decrease was observed in the development of early age strength (2-day). This is because of (i) relatively lower cement utilization rates resulted in lower hydration products and (ii) pozzolanic reactivity occurred after hydration reactions.

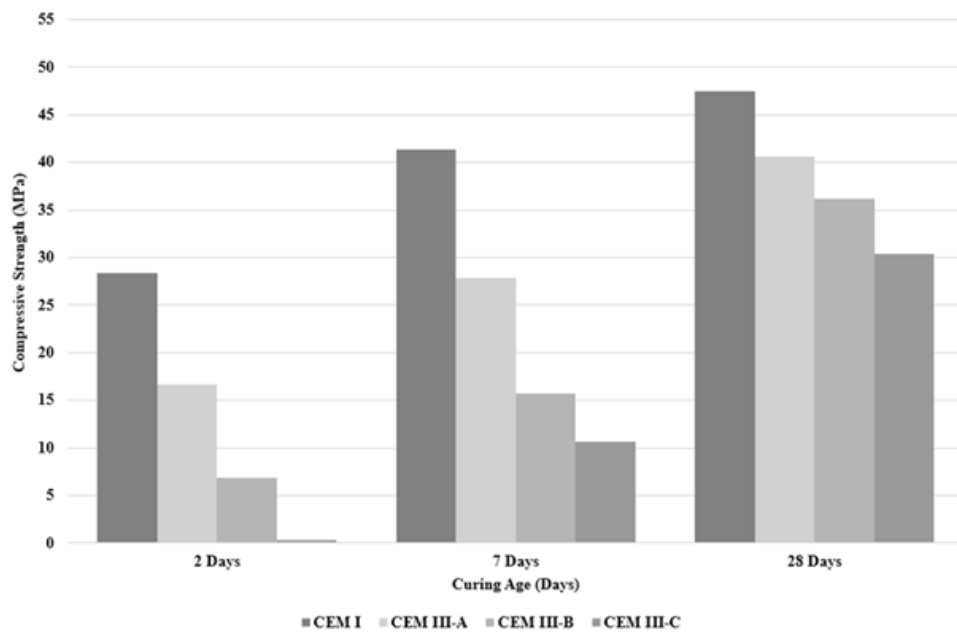


Figure 3. Compressive strength results depending on slag replacement level

ii. Effect of nanomaterial type

In mixtures containing slag, 2, 7 and 28 days compressive strength test results showed differences in accordance with both nano type and slag replacement level. Compressive strength of mixtures including 1% nanomaterial and different amounts of slag is given in Figure 4. As seen in the Figure, even though 2-day compressive strength of all mixtures are almost the same and closed to each other regardless of nano type, for later ages, the highest strength development of 48.8% was found in the mixture including NSI (Qing et al., 2007; Bai et al., 2014). The contribution of NAL and NSI to the strength development was limited since the amount of calcium hydroxide formed in the hydration decreased due to the reduction in cement

usage. As a result of chemical effect of NC with aluminate phase of both slag and CEM I (Demirhan, 2020), more contributions were obtained in the presence of nano sized calcite (Sato and Daillo, 2010), and even the rate of contribution in many cure ages was almost equal to NAL. Regardless of the slag usage rate, all nanomaterials contributed to the development of strength, and CEM III-C 32.5 N type cement was produced in the standard mixture including 19% cement, namely, 81% of slag usage. Considering the fact that approximately one cubic meter of CO_2 gas is released into the nature when a ton of clinker is produced, makes it possible to produce an eco-friendly greener cement in the case of using 81% of slag.

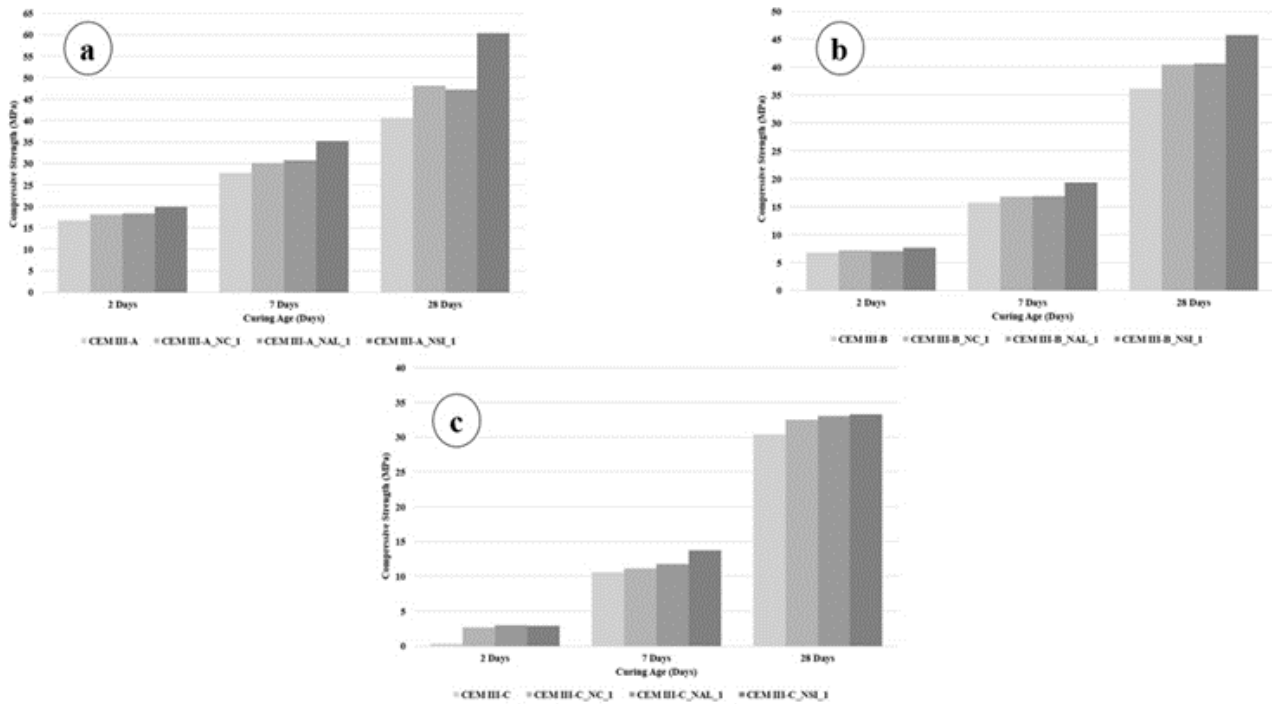


Figure 4. Compressive strength results of mixtures including different amount of slag and 1% of nanomaterial (a) for CEM III-A, (b) for CEM III-B and (c) for CEM III-C

In addition to all mentioned above, since there was a little amount of aluminate phase in slag (10.62%, see Table 1), contribution of slag to the strength development in term of chemical effect was limited, therefore, less strength development in higher replacement levels of slag was observed. Since there is more aluminate phase in F type fly ash than that of slag, chemical effect and contribution to strength is at higher levels in the presence of fly ash. Therefore, lower aluminate phase in slag was resulted in lower contribution of NC to the amount of hydration products (Shaikh and Hosan, 2019).

In mixtures without slag, herein also, compressive strength of 2, 7 and 28 days curing ages were varied in accordance with nano type. Compressive strength test results of mixtures with 1% of nanomaterial and also without slag are given in

Figure 5. Regardless of nano type, compressive strength of the mixtures without slag improved in the presence of nanomaterials. Since NAL and NSI promote the hydration kinetics of C_3S (Björnström et al., 2004; Barbhuiya et al., 2014) and therefore higher amount of calcium hydroxide forms, the highest strength development was observed at the curing age of 2 days where enhancement of %25.4 and %29.2 comparing to control mixture (Mix# 1) were obtained in the presence of NAL and NSI, respectively. In the presence of NC, in addition to promoting hydration mechanism of C_3S , NC reacted with aluminate phase of OPC and produced hydration products of carbo-aluminates (Zaitri et al., 2014; Dale et al., 2015). As a result of this, the highest strength enhancement at the curing age of 28 days was observed in the presence of NC with an enhancement of 14%.

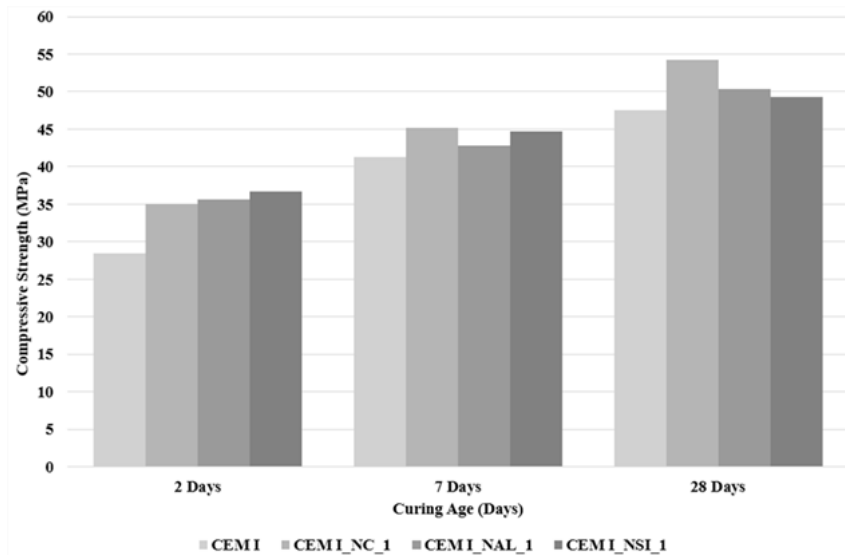


Figure 5. 2, 7 and 28 days compressive strength results of mixtures including 1% of nanomaterial without slag

iii. Effect of nanomaterial replacement level

Compressive strength test results of mixtures including different amounts of nano are given in Figure 6-9. As seen in the figures, regardless of slag replacement level, a partial decrease in the compressive strength was observed as nanomaterial usage percentage was increased. Decrease in the strength was maybe due to both the agglomeration of nanomaterials and also dilution effect. Since nanomaterials have high surface area

to volume ratio, especially when they are used over a certain ratio, they act as a filler and do not contribute to strength (Sun et al., 2020; Ng et al., 2020). Although nanomaterial replacement level varies in the literature, in many studies, the rate of nano usage is recommended between 1-2% (Yang et al., 2018; Shaikh and Supit, 2014), and in the current study, the highest strength development was observed in the 1% use of nanomaterials where the result is in line with the literature.

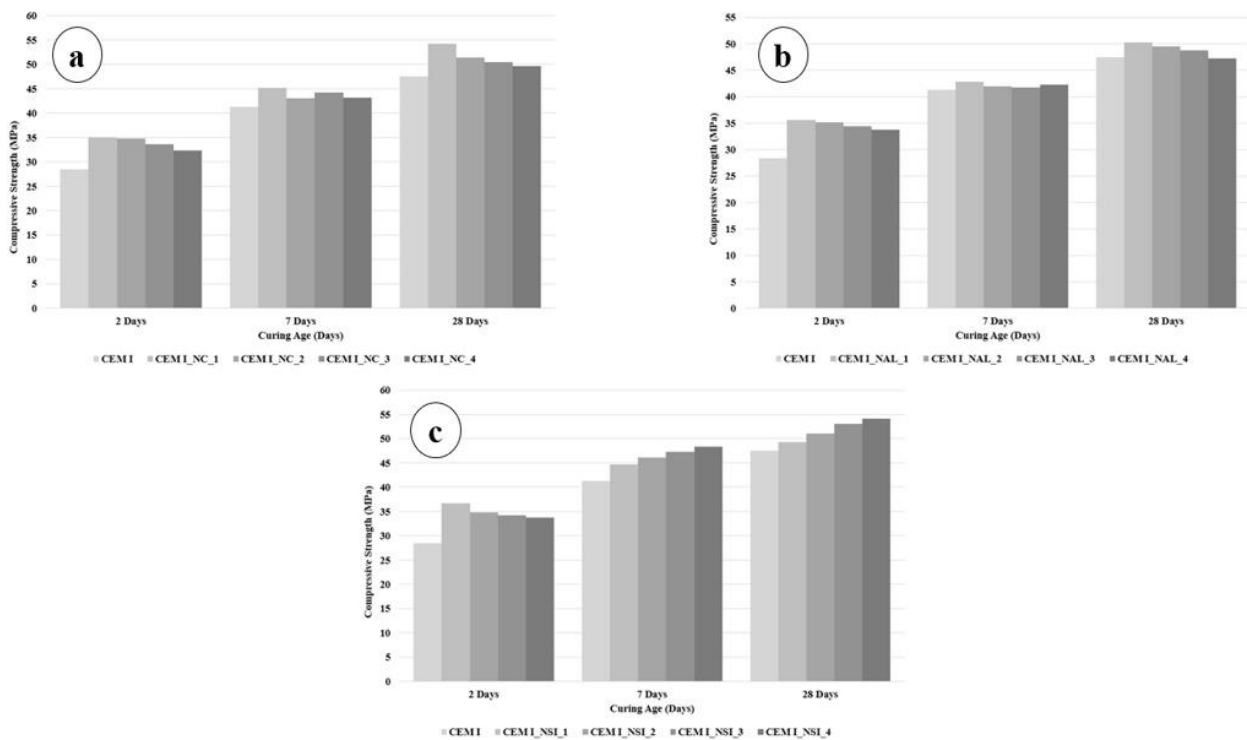


Figure 6. 2, 7 and 28 days compressive strength results of mixtures including different amount of nanomaterial without slag

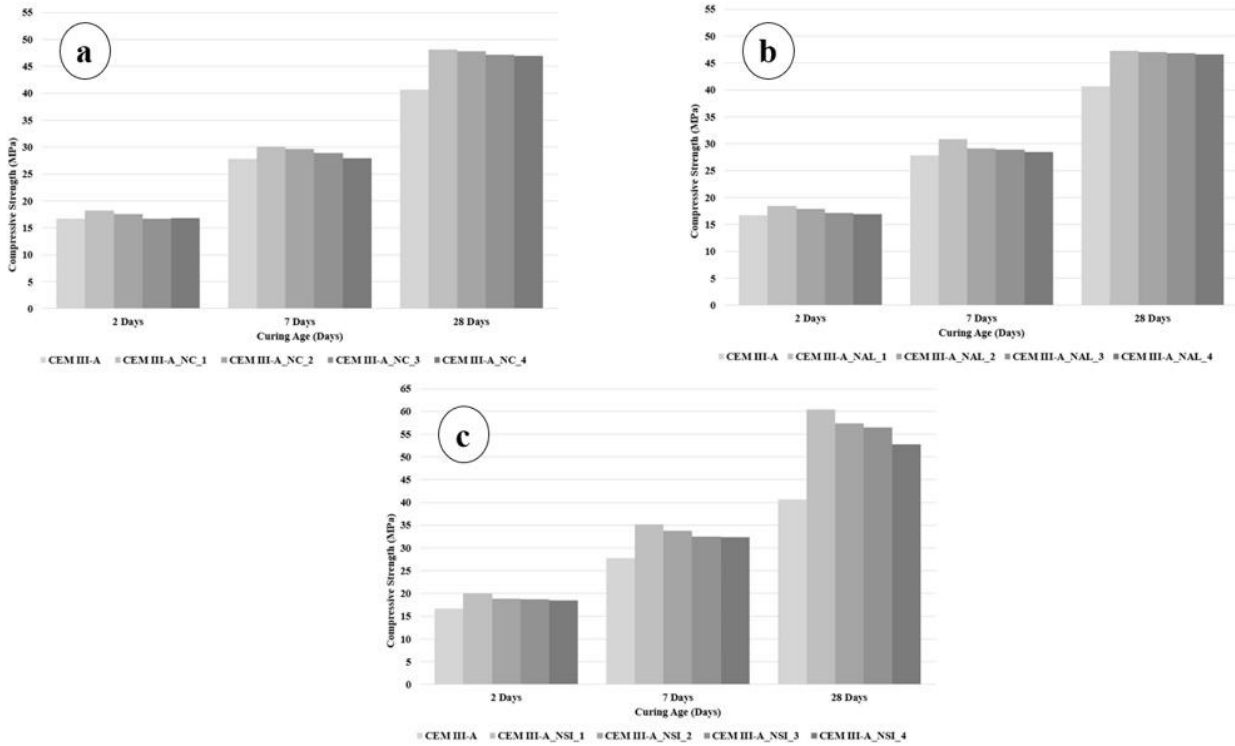


Figure 7. Compressive strength results of mixtures for CEM III-A including different amount of nanomaterial

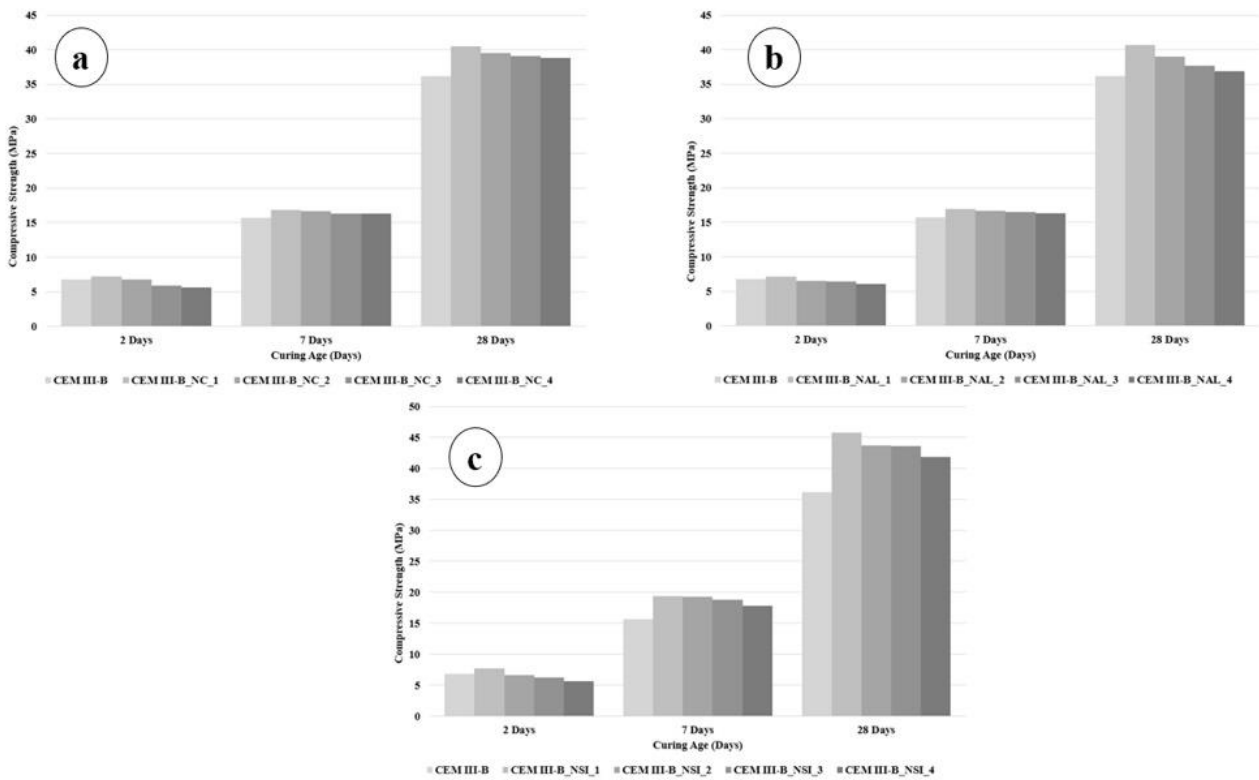


Figure 8. Compressive strength results of mixtures for CEM III-B including different amount of nanomaterial

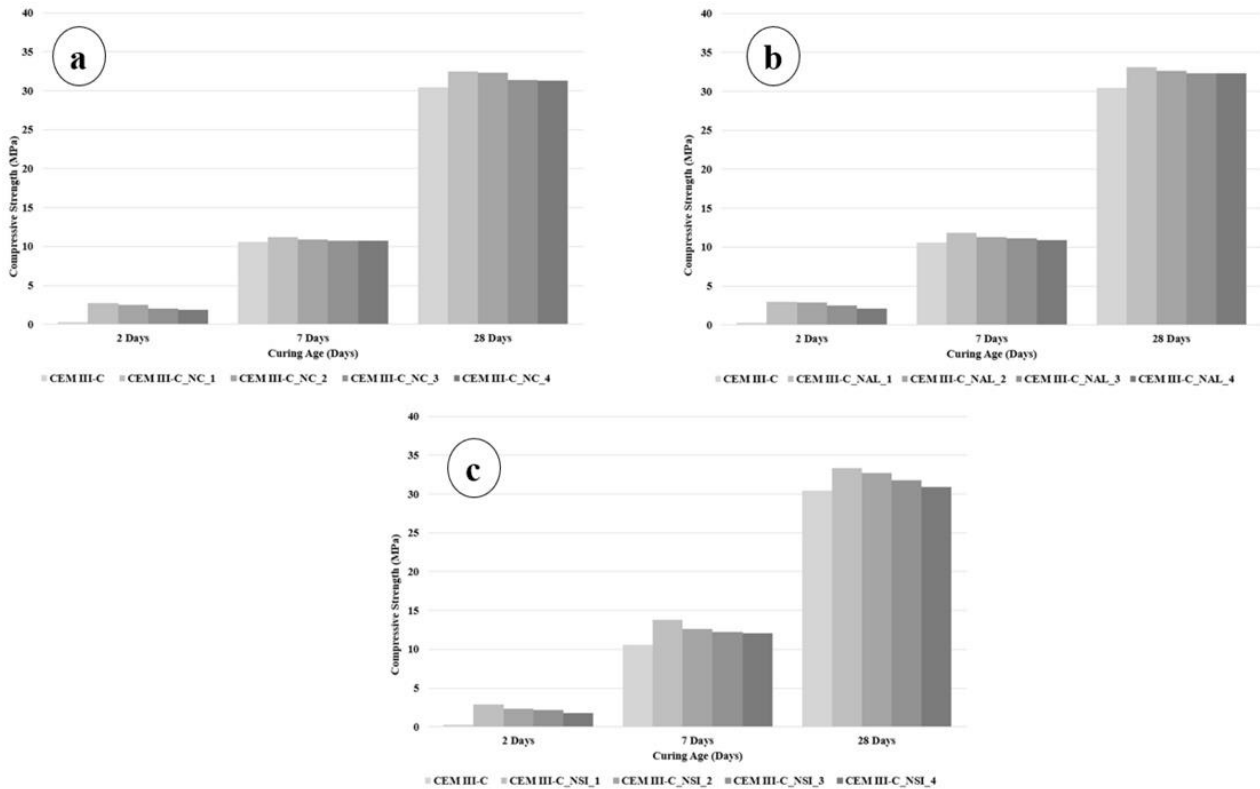


Figure 9. Compressive strength results of mixtures for CEM III-C including different amount of nanomaterial

3.2. Consistency, initial and final setting times

As stated before, the use of mineral additive results in higher setting times. Since high volume of slag (81%) was used in present study, this would lead to the problems of determining setting times. Therefore, only 8 mixtures of CEM I and CEM III-A were chosen and consistency, initial and final setting times were carried out for them. Consistency and setting times of experimental results are given in Figure 10-12, respectively.

As stated before, the use of mineral additive results in higher setting times. Since high volume of slag (81%) was used in present study, this would lead to the problems of determining setting times. Therefore, only 8 mixtures of CEM I and CEM III-A were chosen and consistency, initial and final setting times were carried out for them. Consistency and setting times of experimental results are given in Figure 10 and Figure 11-12, respectively.

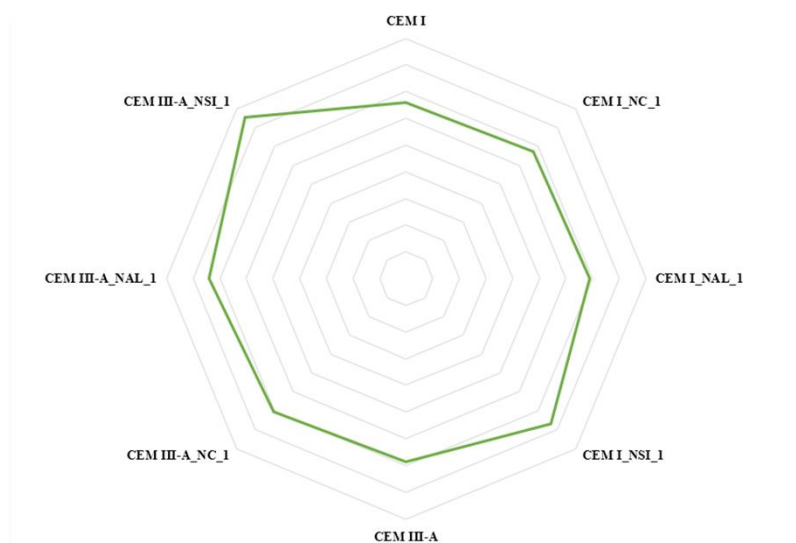


Figure 10. The consistency water of tailored mixtures

As seen in Figure 11 and Figure 12 where cement paste setting times are given, as the replacement level of slag was increased, an increase in initial and final setting times was observed (Rao and Rao, 2015). Since the setting times is depending on the hydration products, as a result of delayed pozzolanic reaction it was determined that there was an increase in both initial and final setting times. Nano sized materials promote the hydration mechanism of C_3S as nucleation effect or seeding effect, and with the effect known as chemical effect, only NC reacts with the aluminate phase of both cement and mineral admixtures which results in the formation of more hydration products, i.e., hemi- and mono-carbo aluminates. As a result of nucleation effect and chemical effect, in mixtures produced with only CEM I, there was a clear decrease in both the initial and final setting times (Sumesh et al., 2017; Gowda et al., 2017). As a result of seeding effect and reaction with calcium hydroxide formed as a result of cement hydration, the highest shortening in setting times was observed in the mixtures containing NSI while the lowest was observed in mixtures including NC.

Similar results were observed in CEM III-A type cement and CEM I in term of shortening in the setting times with the use of nanomaterial. In addition to the aforementioned discussion, since the chemical effect in addition to the nucleation effect occurred in mixtures where NC was used, the shortening setting times of the mixtures using slag with NC was higher than in CEM I with NC. Because of the increased aluminate phase in the matrix with the use of slag, NC promoted more hydration products as a result of the chemical effect, resulting in more shortening in the setting times.

As a result of the case mentioned above, it could be said that NC provided a more effective performance than that of NSI and NAL due to increasing of aluminate phase in presence of mineral admixture including cement types. Finally, it is also worth noting that the choice of nanomaterial type is very important depending on the chemical composition of mineral admixture and cementing material.

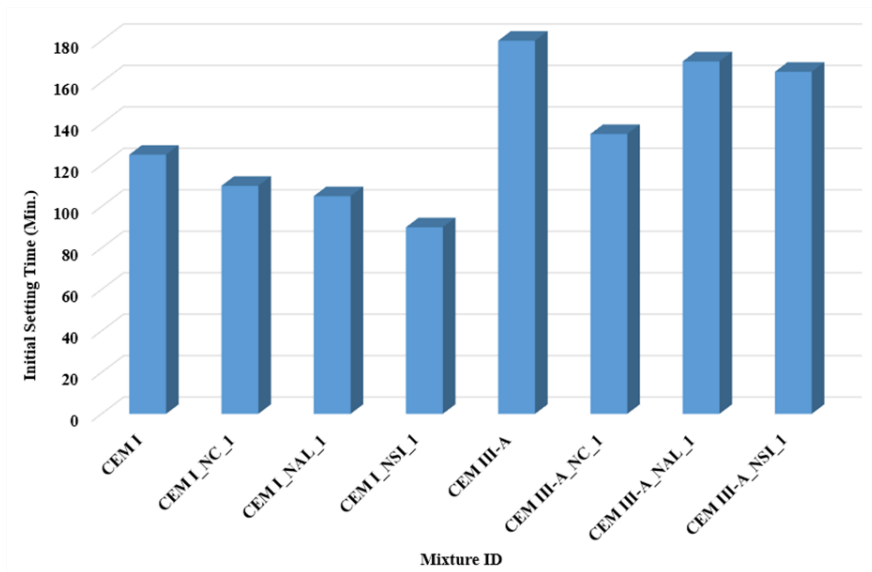


Figure 11. Initial setting times of selected mixtures

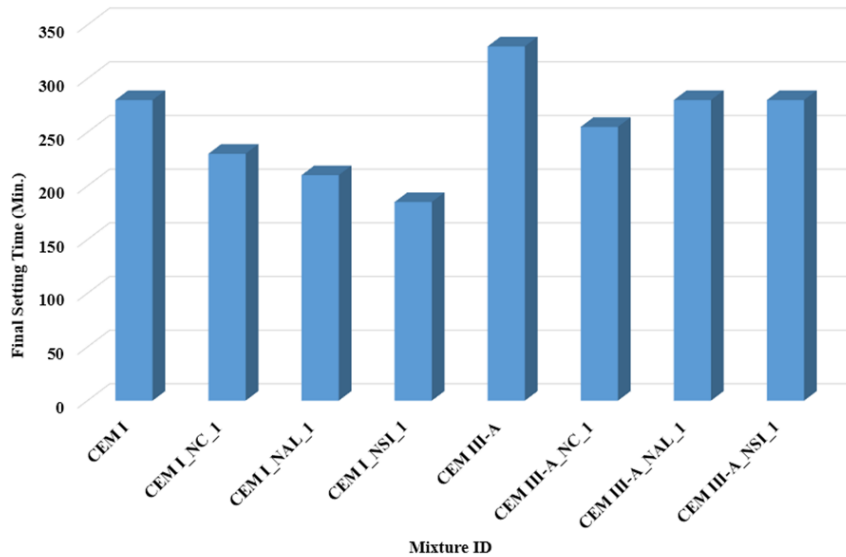


Figure 12. Final setting times of selected mixtures

4. Results

In the light of all results of experimental results performed in accordance with targeted program, the following conclusions could be drawn:

- ❖ Demand in consistency water in the presence of all of the nanomaterials was increased and the lowest demand (as it had relatively small particle size) was obtained in mixtures containing NC.
- ❖ Regardless of slag replacement level, a reduction in setting times were observed in all mixtures.
- ❖ Increase in the replacement level of slag resulted in delay in setting times and also decrease in strength development of the mixtures.
- ❖ As a result of both seeding effect (NC, NAL and NS) and chemical effect (only NC) compressive strength results were enhanced regardless of curing age.
- ❖ A reduction in the increase of strength development was determined as nanomaterial replacement level was increased. The highest performance contribution was obtained in 1% usage regardless of Nano type.
- ❖ In general, in mixtures without slag, the contribution of NAL and NSI particles to the strength was higher while the effects of NC particles with slag were observed to be higher.

Acknowledgments

For their valuable contributions in terms of sample supply and technical supports, Batman Fernas Cement Grinding Plant (FERÇİM); and Batman

University Central Laboratory Application and Research Centre and NiğTaş Micronize Firm are gratefully acknowledged.

Kaynaklar

- Abhilash, P. P., Nayak, D. K., Sangoju, B., Kumar, R. and Kumar, V. (2021). Effect of nano-silica in concrete; a review. *Construction and Building Materials*, 278, 122347. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122347>
- Aghaeipour, A. and Madhkhan, M. (2017). Effect of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) on RCCP durability. *Construction and Building Materials*, 141, 533-541. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.019>
- Alonso, M. C., García Calvo, J. L., Sánchez, M. and Fernandez, A. (2012). Ternary mixes with high mineral additions contents and corrosion related properties. *Materials and corrosion*, 63(12), 1078-1086. <https://doi.org/10.1002/maco.201206654>
- Atiş, C. D. and Bilim, C. (2007). Wet and dry cured compressive strength of concrete containing ground granulated blast-furnace slag. *Building and Environment*, 42(8), 3060-3065. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.027>
- Bai, P., Sharratt, P., Yeo, T. Y. and Bu, J. (2014). A facile route to preparation of high purity nanoporous silica from acid-leached residue of serpentine. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 14(9), 6915-6922. <https://doi.org/10.1166/jnn.2014.8963>

- Bakharev, T. (2005). Durability of geopolymer materials in sodium and magnesium sulfate solutions. *Cement and Concrete Research*, 35(6), 1233-1246.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.002>
- Barbhuiya, S., Mukherjee, S. and Nikraz, H. (2014). Effects of nano-Al₂O₃ on early-age microstructural properties of cement paste. *Construction and Building Materials*, 52, 189-193.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.010>
- Benhelal, E., Zahedi, G., Shamsaei, E., and Bahadori, A. (2013). Global strategies and potentials to curb CO₂ emissions in cement industry. *Journal of cleaner production*, 51, 142-161.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.049>
- Björnström, J., Martinelli, A., Matic, A., Börjesson, L. and Panas, I. (2004). Accelerating effects of colloidal nano-silica for beneficial calcium-silicate-hydrate formation in cement. *Chemical Physics Letters*, 392(1-3), 242-248.
<https://doi.org/10.1016/j.cplett.2004.05.071>
- Cao, M., Ming, X., He, K., Li, L. and Shen, S. (2019). Effect of macro-, micro-and nano-calcium carbonate on properties of cementitious composites—A review. *Materials*, 12(5), 781.
<https://doi.org/10.3390/ma12050781>
- Choi, Y. C., Kim, J. and Choi, S. (2017). Mercury intrusion porosimetry characterization of micropore structures of high-strength cement pastes incorporating high volume ground granulated blast-furnace slag. *Construction and Building Materials*, 137, 96-103.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.076>
- Çiftçi, M. (2020). *Nano boyutlu taneciklerin kullanımıyla yüksek hacimde yüksek fırın çürüfö içeren katkılı çimento tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Bentz, D. P., Ardani, A., Barrett, T., Jones, S. Z., Lootens, D., Peltz, M. A., ... and Weiss, W. J. (2015). Multi-scale investigation of the performance of limestone in concrete. *Construction and Building Materials*, 75, 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.042>
- Demirboğa, R., Türkmen, İ. and Karakoc, M. B. (2004). Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral-admixed concrete. *Cement and concrete research*, 34(12), 2329-2336.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.017>
- Demirhan, S. (2017). *Nano malzemeler ile modifiye edilmiş yüksek performanslı hibrid lif donatılı betonlar*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Demirhan, S., Turk, K. and Ulugerger, K. (2019). Fresh and hardened properties of self-consolidating Portland limestone cement mortars: Effect of high-volume limestone powder replaced by cement. *Construction and Building Materials*, 196, 115-125.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.111>
- Demirhan, S. (2020). Combined effects of nano-sized calcite and fly ash on hydration and microstructural properties of mortars. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(6), 1051-1067.
<https://doi.org/10.35414/akufemubid.825862>
- Duran-Herrera, A., Juárez, C. A., Valdez, P. and Bentz, D. P. (2011). Evaluation of sustainable high-volume fly ash concretes. *Cement and Concrete Composites*, 33(1), 39-45.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.09.020>
- Elchalakani, M., Aly, T. and Abu-Aisheh, E. (2014). Sustainable concrete with high volume GGBFS to build Masdar City in the UAE. *Case Studies in Construction Materials*, 1, 10-24.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2013.11.001>
- Flower, D. J. and Sanjayan, J. G. (2007). Greenhouse gas emissions due to concrete manufacture. *The international Journal of life cycle assessment*, 12(5), 282.
<https://doi.org/10.1065/lca2007.05.327>
- Gowda, R., Narendra, H., Rangappa, D. and Prabhakar, R. (2017). Effect of nano-alumina on workability, compressive strength and residual strength at elevated temperature of cement mortar. *Materials Today: Proceedings*, 4(11), 12152-12156.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.09.144>
- Hooton, R. D. (2000). Canadian use of ground granulated blast-furnace slag as a supplementary cementing material for enhanced performance of concrete. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 27(4), 754-760.
<https://doi.org/10.1139/100-014>
- Kong, D. L. and Sanjayan, J. G. (2008). Damage behavior of geopolymer composites exposed to elevated temperatures. *Cement and Concrete Composites*, 30(10), 986-991.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.08.001>
- Kumar, S., Kumar, R., Bandopadhyay, A., Alex, T. C., Kumar, B. R., Das, S. K. and Mehrotra, S. P.

- (2008). Mechanical activation of granulated blast furnace slag and its effect on the properties and structure of portland slag cement. *Cement and Concrete Composites*, 30(8), 679-685. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.05.005>
- Li, H., Xiao, H. G., Yuan, J. and Ou, J. (2004). Microstructure of cement mortar with nanoparticles. *Composites part B: Engineering*, 35(2), 185-189. [https://doi.org/10.1016/S1359-8368\(03\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S1359-8368(03)00052-0)
- Li, J., Tharakan, P., Macdonald, D. and Liang, X. (2013). Technological, economic and financial prospects of carbon dioxide capture in the cement industry. *Energy Policy*, 61, 1377-1387. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.082>
- Li, Q. L., Chen, M. Z., Liu, F., Wu, S. P. and Sang, Y. (2015). Effect of superfine blast furnace slag powder on properties of cement-based materials. *Materials Research Innovations*, 19(sup1), S1-168. <https://doi.org/10.1179/1432891715Z.0000000001397>
- Liu, C., He, X., Deng, X., Wu, Y., Zheng, Z., Liu, J. and Hui, D. (2020). Application of nanomaterials in ultra-high-performance concrete: A review. *Nanotechnology Reviews*, 9(1), 1427-1444. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2020-0107>
- Nazari, A. and Riahi, S. (2011). Improvement compressive strength of concrete in different curing media by Al₂O₃ nanoparticles. *Materials Science and Engineering: A*, 528(3), 1183-1191. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.09.098>
- Ng, D. S., Paul, S. C., Anggraini, V., Kong, S. Y., Qureshi, T. S., Rodriguez, C. R. and Šavija, B. (2020). Influence of SiO₂, TiO₂ and Fe₂O₃ nanoparticles on the properties of fly ash blended cement mortars. *Construction and Building Materials*, 258, 119627. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119627>
- Norhasri, M. M., Hamidah, M. S. and Fadzil, A. M. (2017). Applications of using nano material in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 133, 91-97. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.005>
- Orakzai, M. A. (2021). Hybrid effect of nano-alumina and nano-titanium dioxide on Mechanical properties of concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00483. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00483>
- Oner, A. and Akyuz, S. (2007). An experimental study on optimum usage of GGBS for the compressive strength of concrete. *Cement and Concrete Composites*, 29(6), 505-514. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.01.001>
- Özbay, E., Erdemir, M. and Durmuş, H. İ. (2016). Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties—A review. *Construction and Building Materials*, 105, 423-434. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.153>
- Polat, R., Demirboğa, R. and Karagöl, F. (2019). Mechanical and physical behavior of cement paste and mortar incorporating nano-CaO. *Structural Concrete*, 20(1), 361-370. <https://doi.org/10.1002/suco.201800132>
- Poudyal, L., Adhikari, K. and Won, M. (2021). Mechanical and durability properties of Portland limestone cement (PLC) incorporated with nano calcium carbonate (CaCO₃). *Materials*, 14(4), 905. <https://doi.org/10.3390/ma14040905>
- Qing, Y., Zenan, Z., Deyu, K. and Rongshen, C. (2007). Influence of nano-SiO₂ addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume. *Construction and building materials*, 21(3), 539-545. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.09.001>
- Rao, G. M. and Rao, T. G. (2015). Final setting time and compressive strength of fly ash and GGBS-based geopolymer paste and mortar. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(11), 3067-3074. <https://doi.org/10.1007/s13369-015-1757-z>
- Rashad, A. M. (2014). A comprehensive overview about the influence of different admixtures and additives on the properties of alkali-activated fly ash. *Materials and Design*, 53, 1005-1025. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.07.074>
- Rashad, A. M. (2015). An investigation of high-volume fly ash concrete blended with slag subjected to elevated temperatures. *Journal of Cleaner Production*, 93, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.031>
- Rowles, M. and O'connor, B. (2003). Chemical optimisation of the compressive strength of aluminosilicate geopolymers synthesised by sodium silicate activation of metakaolinite. *Journal of Materials Chemistry*, 13(5), 1161-1165. <https://doi.org/10.1039/B212629J>
- Şahmaran, M., Keskin, S. B., Ozerkan, G. and Yaman, I. O. (2008). Self-healing of mechanically loaded self-consolidating concretes with high volumes of fly ash. *Cement and Concrete Composites*, 30(10), 872-879. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.07.001>

- Schmidt, M., Amrhein, K., Braun, T., Glotzbach, C., Kamaruddin, S. and Tänzer, R. (2013). Nanotechnological improvement of structural materials—impact on material performance and structural design. *Cement and Concrete Composites*, 36, 3-7. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.11.003>
- Shaikh, F. U. A. and Hosan, A. (2019). Effect of nano silica on compressive strength and microstructures of high volume blast furnace slag and high volume blast furnace slag-fly ash blended pastes. *Sustainable Materials and Technologies*, 20, e00111. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2019.e00111>
- Shaikh, F. U. and Supit, S. W. (2014). Mechanical and durability properties of high volume fly ash (HVFA) concrete containing calcium carbonate (CaCO₃) nanoparticles. *Construction and building materials*, 70, 309-321. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.099>
- Sobolev, K., Flores, I., Torres-Martinez, L. M., Valdez, P. L., Zarazua, E. and Cuellar, E. L. (2009). *Engineering of SiO₂ nanoparticles for optimal performance in nano cement-based materials*. In Nanotechnology in construction 3 (pp. 139-148). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00980-8_18
- Sumesh, M., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., Mo, K. H. and Alnahhal, M. F. (2017). Incorporation of nanomaterials in cement composite and geopolymer based paste and mortar—A review. *Construction and Building Materials*, 148, 62-84. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.206>
- Sun, J., Cao, X., Xu, Z., Yu, Z., Zhang, Y., Hou, G. and Shen, X. (2020). Contribution of core/shell TiO₂@ SiO₂ nanoparticles to the hydration of Portland cement. *Construction and Building Materials*, 233, 117127. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117127>
- Sato, T. and Diallo, F. (2010). Seeding effect of nano-CaCO₃ on the hydration of tricalcium silicate. *Transportation Research Record*, 2141(1), 61-67. <https://doi.org/10.3141/2141-11>
- TS EN 196-1, (2016). Çimento deney metotları-Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 196-3, (2017). Çimento deney yöntemleri-Bölüm 3: Priz süreleri ve genişleme tayini.
- TS EN 197-1, (2012). Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri.
- Wainwright, P. J. and Rey, N. (2000). The influence of ground granulated blastfurnace slag (GGBS) additions and time delay on the bleeding of concrete. *Cement and Concrete Composites*, 22(4), 253-257. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00024-X](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00024-X)
- Wang, D., Shi, C., Farzadnia, N., Shi, Z., Jia, H. and Ou, Z. (2018). A review on use of limestone powder in cement-based materials: Mechanism, hydration and microstructures. *Construction and Building Materials*, 181, 659-672. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.075>
- Wu, Q., Miao, W. S., Zhang, Y. D., Gao, H. J. and Hui, D. (2020). Mechanical properties of nanomaterials: A review. *Nanotechnology Reviews*, 9(1), 259-273. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2020-0021>
- Yalçınkaya, Ç. and Yazıcı, H. (2017). Effects of ambient temperature and relative humidity on early-age shrinkage of UHPC with high-volume mineral admixtures. *Construction and Building Materials*, 144, 252-259. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.198>
- Yang, H., Che, Y. and Leng, F. (2018). High volume fly ash mortar containing nano-calcium carbonate as a sustainable cementitious material: microstructure and strength development. *Scientific reports*, 8(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34851-4>
- Zaitri, R., Bederina, M., Bouziani, T., Makhoulfi, Z. and Hadjoudja, M. (2014). Development of high performances concrete based on the addition of grinded dune sand and limestone rock using the mixture design modelling approach. *Construction and Building Materials*, 60, 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.062>
- Zhao, Y., Qiu, J., Xing, J. and Sun, X. (2020-a). Chemical activation of binary slag cement with low carbon footprint. *Journal of Cleaner Production*, 267, 121455. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121455>
- Zhao, Z., Qi, T., Zhou, W., Hui, D., Xiao, C., Qi, J. and Zhao, Z. (2020-b). A review on the properties, reinforcing effects, and commercialization of nanomaterials for cement-based materials. *Nanotechnology Reviews*, 9(1), 303-322. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2020-0023>
- Zhuang, S. and Wang, Q. (2021). Inhibition mechanisms of steel slag on the early-age hydration of cement. *Cement and Concrete Research*, 140, 106283. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106283>

Analysis of car park etudes with different statistical methods and modeling with GIS: Erzincan province case

Otopark etütlerinin farklı istatistiksel yöntemler ile analizi ve CBS ile modellenmesi: Erzincan ili örneği

Yusuf MAZLUM^{*1,a}, Halim Ferit BAYATA^{2,b}, Fatih İrfan BAŞ^{2,c}, Muhammet Ali ÇOLAK^{2,d}, Ünsal BAYRAK^{3,e}

¹Erzincan Binali Yıldırım University, İliç Dursun Yıldırım Vocational School, 24700, Erzincan, Turkey

²Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Engineering, Civil Engineering, 24100, Erzincan / Turkey

³Atatürk University, Faculty of Engineering, Civil Engineering, 25240, Erzurum / Turkey

• Geliş tarihi / Received: 06.02.2020 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 15.02.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 11.03.2021

Abstract

Rapidly changing lifestyles, rising expectations, and increased private vehicle ownership have caused increases in the number of urban trips. All these changes that have appeared in time have made the parking requirement more important every day. Parking surveys have been required to determine what actions to be taken leadingly during the location selection and building processes of the parking areas to be built. The failure on planning parking areas correctly reveals environmental and economic problems as well as social problems. In this study, parking surveys were carried out primarily in order to determine location, types and capacities of existing car parks. The capacity and locations of the new parking areas have been determined considering five-year traffic increases. The points where parking needs were most needed were determined counting the vehicles parked at 44 separate on-road parking areas in the city center of Erzincan, where parking fees are charged by the municipality. In determined parking areas, statistical analyses were performed with spatial analysis outputs, artificial neural networks and time series analysis methods counting the vehicles parked regularly during daylight hours for one year. Solutions were offered to reduce parking load in traffic identifying new correctly located car parking areas in Erzincan city center. In the light of the analysis results, the location and capacities of the new parking areas suggested to be built identifying 6 different points in the city center were determined. In conclusion, an additional 1420-vehicle parking capacity in suggested new parking spaces was proposed as a solution-oriented approach for the parking problem in the city center.

Keywords: Artificial neural networks, Location selection, Parking survey, Spatial analysis, Time series analysis

Öz

Hızla değişen yaşam tarzları, yükselen beklentiler, özel araç sahipliğinin artması, kentsel yolculuk sayılarında artışlara neden olmaktadır. Zaman içinde meydana gelen tüm bu değişiklikler otopark gereksinimini her geçen gün daha da önemli kılmaktadır. Yapılacak olan otopark alanlarının konum seçimi ve kurulum süreçleri içerisinde başlangıç olarak yapılması gerekenlerin neler olduğunu belirlemek için otopark etütlerinin yapılması gerekmektedir. Otopark alanlarının doğru planlanmaması, çevresel ve ekonomik sorunların yanında sosyal problemleri de ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada öncelikle mevcut otoparkların konum, tür ve kapasitelerinin belirlenmesi amacıyla otopark etütleri yapılmıştır. Beş yıllık trafik artışları da dikkate alınarak yeni otopark alanlarının kapasite ve konumları belirlenmiştir. Erzincan ili şehir merkezinde bulunan ve belediye tarafından park ücreti alınan 44 ayrı yol üzeri park alanı noktasında park eden araçların sayımları yapılarak otopark ihtiyacının en çok olduğu noktalar tespit edilmiştir. Belirlenen park alanlarında, bir yıl boyunca düzenli olarak gündüz saatlerinde park eden araç sayımları yapılarak mekânsal analiz çıktıları, yapay sinir ağları ve zaman serileri analizi yöntemleri ile istatistiksel analizleri yapılmıştır. Erzincan kent merkezinde bulunan doğru konumlandırılmış yeni otopark alanları belirlenerek trafikteki otopark yükünü azaltmaya yönelik çözüm önerileri sunulmuştur. Ortaya çıkan analiz sonuçları ışığında il merkezinde 6 ayrı nokta belirlenerek yapılması önerilen yeni otopark alanlarının konum ve kapasiteleri belirlenmiştir. Sonuç olarak önerilen yeni park alanlarındaki 1420 araçlık ek otopark kapasitesi il merkezindeki otopark problemine çözüm odaklı bir yaklaşım önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağları, Konum seçimi, Otopark etüdü, Mekânsal analiz, Zaman serileri analizi

*a Yusuf MAZLUM; ymazlumakademik@gmail.com, Tel: (0533) 569 99 50; orcid.org/0000-0003-2957-2822

^b orcid.org/0000-0001-8274-8888

^c orcid.org/0000-0002-0845-060X

^d orcid.org/0000-0003-4990-6674

^e orcid.org/0000-0003-4039-1248

1. Introduction

Rapidly changing lifestyles, rising expectations, increasing interest in purchasing private vehicles and the rise in country's population have increased the daily trip rates per capita causing increases in the number of urban trips. All these changes have prioritized the need for parking more and more important every day. Location selection for urban parking area is essential for making efficient, on-site, and accurate decisions increasing the survey benefit as well as designing outdoor spaces. Further traffic surveys should be carried out before attraction centers such as shopping malls, hospitals, industrial zones that increase traffic density have been built. Determining what needed to be done initially for location selection and building processes of the parking areas to be built and enriching the contents of the car park survey ensure making more accurate decisions (İskender, 2010). In addition, it has also aimed to produce a solution in order to ensure standard on-site implementation of survey, reporting, real-time visualization and accelerating the process of ensuring the integration of traffic load in the near future. Urban outdoors indicates a whole created by the constructions and refers areas where all urban events are experienced. Proper construction of these outside environments is remarkable for cities (Özbuğday, 2009). Insufficient infrastructure, on the other hand, makes the parking problem inextricable. Determination of parking policy by local governments and carrying out necessary surveys are compulsory for offering solutions (Haldenbilen et al., 1999). The efforts of people to leave their vehicles in safe and correct places during their daily trips have also brought the problem of parking, which is part of the traffic problem, to the agenda (Gökdağ and Yarbaşı, 2014). When previous literature studies were reviewed, it was noticed that the researches on parking problems in city centers were mostly carried out for large cities; although the studies reporting small-scale cities were also noticed, it was determined that solutions for many applications could not be reached, and spatial analysis methods and statistical analysis methods were not used together. In reviewed literature studies, it was specified that the observations lasted for no more than six months. In this study, the counts for 44 separate on-road parking points were carried out for one year.

In order to organize randomness in parking management in Abu Dhabi, Abu Dhabi City started implementing a new paid parking system inside the city, named Mawaqif. This new system helps reducing the parking problem in congested areas

but transferred the problem to less crowded areas in the city (Alkheder, S. A., Rajab, M. M. A., and Alzoubi K., 2016). Ecosystem architecture including interconnected service platforms was created so that the parking services can be explored universally and used to reduce the traffic problems related to the park (Strasser M., Mauser D. and Albayrak S., 2016). In order to minimize traffic congestion and provide efficient parking facilities in Dhaka city, a prototype of the reservation-based parking system was designed and simulated by developing a smartphone-based parking model (Dey, S. K. et al., 2019). It was a systematic project for fundamentally solving the curb parking problem in city. It temporarily worked to increase parking management enforcement, perfect road parking sign, or strengthen travelers' thought education. From perspective of demand management for curb parking, this paper put forwards five fundamental solutions including making the city transportation system perfect, improving travelling structure, and taking advantage of technological intelligence to curb parking problems (Wang D., Han X., and Xing G., 2016).

The problems for parking planning and projecting phases investigated by architects, engineers, students, official institutions, and organizations in terms of private cars have been profoundly examined (Kargı, 2013). Increasing parking needs arisen from increased population density and transportation problems in city centers due to the reasons such as rapid urbanization and easy vehicle owning were analyzed (Gökdağ and Yarbaşı, 2014). With the need for parking spaces in Denizli city center, the results of off-street parking survey were presented emphasizing the decrease in road capacity due to the difficulty in parking outside the car park areas (Haldenbilen et al., 1999). Adana city transportation system and management problems were examined considering spatial, environmental and socioeconomic developments and the views of the individuals who were resident in the city on transportation problems were revealed with questionnaires and various statistical methods (Sandal and Traş, 2012). A practical system was suggested to administer the concept of parking planning and management at the level of small-scale cities (Özen, 2014). Capacities, usage rates and frequency of parking spaces, purposes of use and parking times were analyzed (Kaplan and Yıldız, 2002). Parking problems in Eskisehir city center were investigated in an approach based on sustainable transportation system (Yalnız and Bilgiç, 2006). Depending upon year-by-year developments in transportation systems and

reasons for the occurrence of parking problems, the demands of parking especially due to the way of using urban land was investigated (Çikman, 2003). For ensuring a sustainable transportation system, the dimensions and types of parking problems were analyzed with main headings highlighting parking management strategies, and the problems were tried to be identified (Barhani, 2007). Parking problems were examined for the city center of Konya (Güngör, 2006). The general definition and types of car parks were analyzed in detail depending upon the concept of parking possible to be integrated into transportation systems in a way reducing vehicle ownership and supporting public transportation systems (Özdemir, 2006). Evaluations were suggested on the current status of parking areas throughout İstanbul and the way they were used (Aslan, 1998). Emphasizing the urban planning of parking spaces, the types and shapes of parks based on standards and regulations were mentioned (Özel, 1996).

Disordered growth in residential areas and lack of infrastructure have caused structures to be dense in certain areas of settlements and appearance of significant transportation problems in everyday life. Random parking of vehicles on roadsides causes narrowing of the roads and, therefore, traffic density and congestion (Özdemir, 2006; Çiçek, 2015). Car parking areas are needed at destination points of trips by car. In addition to the environmental and economic problems appearing when these parking areas are not planned correctly, these also reveal social problems negatively affecting the activities of the society. This effect has been noticed in a large area in large cities, whereas being noticed in a narrow area in small cities. When regarded in this sense, parking and transportation problems will be largely overcome with correct parking design to be planned in the city center. Whereas it is difficult to plan parking areas in big cities due to the number of cars and difficulty in creating parking spaces, this problem is possible to be overcome more simply and quickly in small cities. Survey is essential for the solution of the parking problem. In accordance with the information above, this study was carried out using the parking data obtained for a year as result of a detailed and comprehensive research, unlike the existing studies carried out so far in order to reveal parking problem in Erzincan as a small-scale province. This study included four chapters, and the first chapter was the introduction. This part was the one introducing the subject and explaining the previous studies. The second section included material and method and included data collection and analysis methods used in the study. The third

section included the findings and discussion part, and the findings and data related to the results obtained as result of the study were briefly expressed in written form. In the final section of the conclusion and recommendations, solutions were offered explaining the transfer of the information found as result of the study, the significance of the results and what these results indicated. In this study, it was aimed to make realistic, on-site, accurate decisions for the new car parks planned to be built using spatial analysis outputs and statistical analysis methods on GIS system of parking surveys conducted in the provincial center.

2. Material and method

While analyzing the data obtained in the study, time series analysis and artificial neural network methods were used statistically, and geographic information system (GIS) was used for spatial analysis.

2.1. Time series analysis

A time series is a sequence of data points typically measured at uniform time intervals. The samples occur in a variety of fields ranging from economics to engineering, and methods of analyzing time series create an important part of statistics. Time series analysis includes methods for analyzing time series data in order to extract meaningful characteristics of the data and predict future values. The Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) models, or Box-Jenkins methodology, are linear models that represent stationary as well as nonstationary time series ARIMA models relying heavily on autocorrelation patterns (Green, 2011). A stochastic transaction provides a framework for directing uncertainty into predictions (Ahmad et al., 2002, Wang et al., 2014). One of the most popular models used for this purpose is Box-Jenkins autoregressive integrated moving average (ARIMA) model. It is used to create synthetic series with the same persistence structure as an observed series and also to predict the behavior of a time series regarding past values (Cadenas & Rivera, 2010). The main purpose of Box-Jenkins ARIMA model time series modeling is to predict future trend depending upon past behavior. One of the most frequently used models for this purpose is Box-Jenkins Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) model (Chattopadhyay & Chattopadhyay, 2010). Time-dependent changes of the data are observed while performing time series analysis. For example, traffic accidents happening on the roads are more common during the holidays

rather than the traffic in the normal time, namely, the accident rates change depending upon time. Time series analysis is benefited for noticing inconsistent data, making predictions, completing the missing data and correcting the mistakes. Time series analysis methods are moving average, relative strength index, momentum and rate of change.

2.2. Artificial neural networks

Artificial neural networks were created and developed influencing from the biological nervous system. Biological nerve cells communicate with each other through synapses. A nerve cell conveys the information it processes to other cells using axons. Similarly, artificial nerve cells collect external information with a gathering function and send the information to other cells of the network producing the output. The elements creating the structure have different addition and activation functions. The values of the connections that connect artificial neural networks are called weight values. Process elements come together in 3 layers parallel to each other and create a network. These three layers are input layer, intermediate layers, and output layer. The information is delivered to the network through the input layer. They are sent to the output layer as being processed in intermediate layers. The network's ability to produce correct outputs for the inputs depends on entering correct values of the weights.

2.3. Geographic information system (GIS)

The GIS system used as the spatial analysis method in the study is a system including hardware, software, personnel and methods performing the functions of collecting, saving, processing, evaluating, associating, updating, questioning, analyzing and presenting all kinds of graphic and non-graphic spatial information in order to assist users in decision-making processes depending on location related to the solution of social, economic, environmental, etc. problems in the world. In other words, GIS is a system that has the function of collecting, saving, processing and presenting all graphical and non-graphical data obtained with observations depending on location (Yomralıoğlu, 2000). Geographical information systems provide powerful tools that allow data to be analyzed, visualized, and make conscious decisions (Hanchette C., 2014). GIS is a decision support

system that fulfills the process of collecting, saving, analyzing, and presenting spatial and non-spatial geographical data in accordance with the purposes of the study. GIS is effectively used for determining the route used in navigation applications with various analyzes and presenting the results to the users (Durduran et al., 2018). Using the network analysis tool of GIS, solutions are offered to problems such as analyzing the shortest path with any road network, accessing to fire stations, police stations, hospitals, determining product delivery routes, and analyzing service networks (Varol et al., 2010). GIS provides an opportunity for analyzing spatial data using both multi-scalar and diachronic approaches, and, quite importantly, in a digital and quantitative manner (Remoaldo, P. C. A. Ribeiro V., Lopes H. S. and Silva S. C. G., 2018). In the study, ArcGIS software developed by ESRI was used for the analyzes based on geographic information system. In the study, maps illustrating the number of parking vehicles were created using the Kernel Density method which was one of the important analysis methods of GIS processing current parking spaces in the city center and 44 on-road parking spaces charged by Erzincan Municipality on the map. This process was used to reduce the number of vehicles parked on the road and accessibility for the distribution of the proposed parking areas.

2.4. Data collection and analysis

Screening model was used to recognize the parking problems, examine solution suggestions, and determine the efficiency of systems put forward with the advancing technology. General screening models indicated screening arrangements made on the whole universe or a group of samples taken from the population in order to make a general judgement about the universe including various elements (Karasar, 1994). Using the general screening method, all kinds of information about the parking areas were collected, and a common compliance and implementation integrity was achieved. The 44 parking areas Erzincan Municipality allowed on-road parking with fee in the city center were mapped with Google Earth program (Figure 1). Then, the parking areas serving as parking lots in the city center were determined and their capacities and locations were determined.



Figure 1. 44 road parking areas used in the city center and charged by the municipality

The number of vehicles that parked in parking lots was counted with the hand terminals used by the parking officers of Erzincan Municipality. The number and parking time of the vehicles in the parking areas were determined obtaining the data from the hand terminals of the parking staff. The obtained data covered a one-year permanent period. The parking space occupation period which started at the same time as the license plates of the vehicles parked instantly via electronic hand terminals were entered into the system was recorded. Combining these parking times in computer environment, hourly, daily, monthly, and annual total times and average parking times were calculated. In addition, the data were grouped in three different time periods as morning, noon, and evening. According to this, the morning group

included 7a.m., 8a.m., 9a.m., 10a.m., and 11a.m. Noon hours included 12p.m., 1p.m., 2p.m., and 3p.m. Hours after 4p.m. were called the evening group.

Three columns were created for 44 observation points and the total number of cars parked in the morning, noon and evening and the average number of vehicles were entered. Subsequently, the maps presenting the average values of these three groups were created and the thematic map created with the Kernel Density method using the spatial data in ArcGIS 10 software was presented in Figure 2. The created thematic map was used to observe the distribution of parking in the city center and to determine the areas where the new parking lots in addition to the existing structure should be planned.

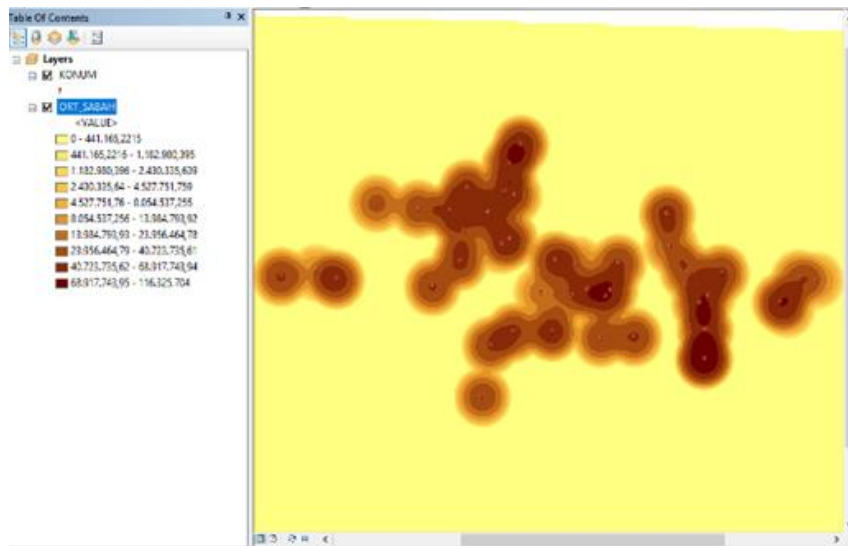


Figure 2. Kernel density analysis (analysis of on-street parking areas)

44 road parking areas in the city center where observations were made are named as in Table 1.

Table 1. Charged on-street parking spaces of Erzincan municipality

Erzincan city center on-street parking observation points			
Point No	Name of Point	Point No	Name of Point
1	in front of Metinler Bazaar	23	in front of Manifaturacilar
2	Selimoğlu Commercial Complex	24	in front of Yildiz
3	in front of Mado	25	in front of Fatih Bazaar
4	in front of Uzun Bazaar	26	west Gülistan Hotel
5	Bariş Manço Park	27	in front of Emniyet Bazaar
6	in front of Ordu Bazaar	28	in front of Lambaci
7	in front of Ari Firini	29	east of Buğday Square
8	north of Gemi Commercial Center	30	south of Buğday Square
9	south of Gemi Commercial Center	31	in front of Asist
10	next to Ziraat Bank	32	in front of Hiraoğullari
11	Eğimlioğlu Commercial Center	33	in front of Polat Commercial Center
12	in front of Sony Service	34	in front of Kizilay Centre
13	in front of Camii Kebir	35	in front of Ermar Shopping Mall
14	in front of Ing Bank	36	in front of Erzingaz
15	in front of Şekerbank	37	back to Büyük Bazaar
16	east road of Ermerkez	38	in front of Tozlu Shopping Mall
17	in front of Halkbank	39	in front of Mazda
18	in front of Vakifbank	40	next to Manifaturacilar
19	in front of Milli Eğitim	41	in front of v.savaş
20	in front of Karakaya Hotel	42	in front of 1 st health care center
21	in front of Büyük Bazaar	43	in front of Boyacilar Cami
22	in front of Fevzipaşa	44	in front of Adalet Sarayi

In Table 1, the list of the on-road parking areas used extensively in the city center was listed and after the coordinates of the given parking areas are determined, KML (Keyhole Markup Language) as a format used for storing geographic data and related content was created entering in Google Earth. Then, KML Folder was transformed into

Shape (storing the geometric locations and quality information of geographical features) as in Figure 3. To add new fields to the exported file, the field calculator operation was performed applying the add field-batch command (adding a new field to a table or to the raster of a property class, property layer and attribute tables).

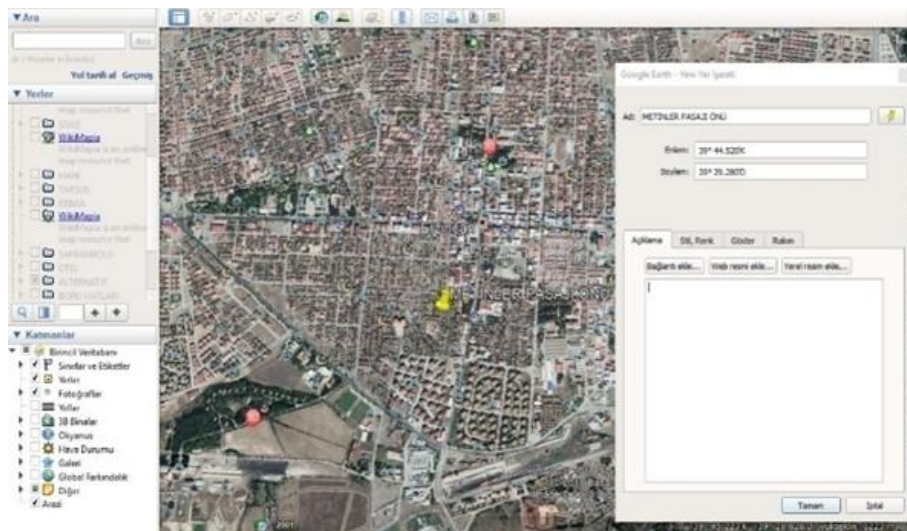


Figure 3. Creating KML

3. Findings and discussion

Parking has been a problem in Erzincan where there is a highly planned urbanization. It was observed that the parking problem in and around Dörtöyol which had the busiest traffic of the city where due to shopping areas, restaurants and banks caused drivers to get annoyed and caused parking violations. It was determined that the existing road-long parking areas were occupied by the owners of the workplaces due to their long-term parking and therefore the individuals who came for business follow-up and shopping did not find a place to park their vehicles for a short time. In addition, it was observed that the sincere relationships between the park staff of Erzincan Municipality and the workplace owners created an obstacle for collecting the parking fees. For this reason, it was observed that the disincentive pricing aspect of long-time parking did not provide any benefit.

There were totally in-service 37 parking lots in the city center. Twenty-six out of these car parks were in-service and 11 were out-of-service. Regarding the capacities of the existing car parks, the average capacity of the parking spaces was calculated to be 24 vehicles per car park. It was observed that many places serving as parking lots had a car-wash license instead of obtaining a parking license. During the face-to-face interviews with the parking lot owners, it was learned that female customers did not prefer parking areas located in the basement or descended by a ramp. The reason for this was said to be the steepness and narrowness of the descending ramps. In addition, in the price comparisons, it has been observed that the municipality's road parking fee is more appropriate than the normal parking fees. Furthermore, in terms of comparing the fees, on-street parking fees were observed to be lower than normal parking lot fees. The fact that the parking lots in the back streets caused on-street parking spaces more beneficial. When the occupancy rates of the car parks in the city center were examined, it was observed that low-capacity open parking lots were preferred more than closed parking lots as they were more practical and economical.

Considering the observations and counts made in the city center, the morning, noon and evening hours were categorized in 3 groups. The maps showing the number of cars parked in the city center were created thematically in Figure 4, Figure 5, and Figure 6 processing the counting information collected from the road parking areas in the city center for a year in Arcgis software, and

the average number of parked vehicles was presented in Figure 7.



Figure 4. Thematic map for morning hours



Figure 5. Thematic map for noon hours

It was determined that the number of vehicles parked in the morning was the most between 7a.m. and 9a.m. The distribution map of the number of vehicles parked in the morning was presented in Figure 4. It was observed that the number of cars parked at noon hours was the most between 12p.m. and 2p.m. The map with the noon-hour was presented in Figure 5.



Figure 6. Density map for evening hours



Figure 7. Parking space fit map

It was determined that the number of vehicles parked in the evening hours was the most between 5p.m. and 7p.m. The distribution map of the

number of vehicles parked in the evening hours was presented in Figure 6. The parking fit map suggested to be created was obtained combining the maps of the number of vehicles that parked in the morning, noon and evening hours as presented in Figure 7.

Thematic parking number maps were obtained as result of the analysis performed with ArcGIS software. Time series analysis was used to predict the number of cars to be parked in the future. ANN analysis was used to compare the obtained estimation results. Which one of these two methods revealed closer outputs to the real series was analyzed to obtain prediction results. The graphical outputs as result of the analysis were as follows:

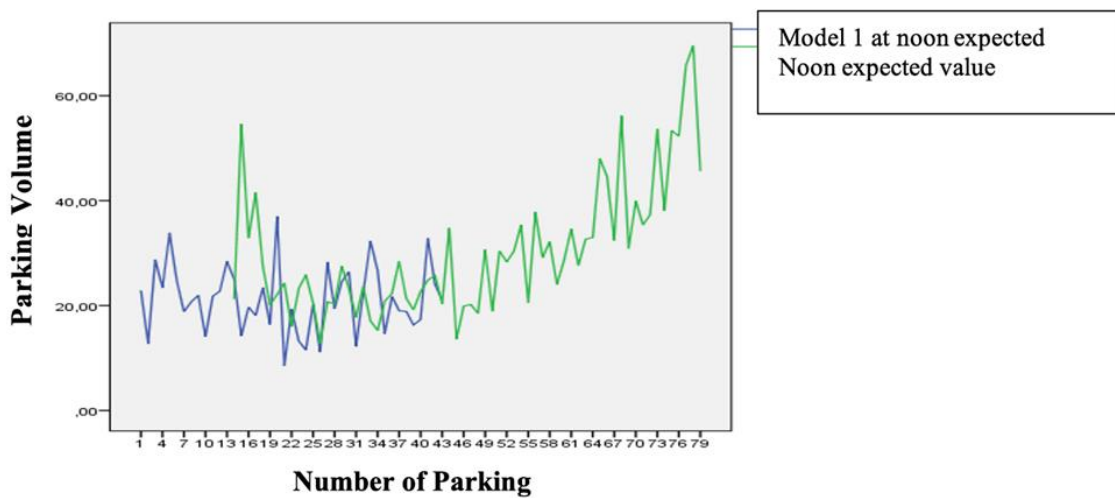


Figure 8. ANN fit graphic

ANN analysis fit graphic of the model was presented in Figure 8. It was observed that there was a seasonal fluctuation in the graphic. In addition to the fit in the graph, it was observed that parking peaked at certain minutes of noon times.

Moreover, it was also observed that the number of parking in noon times was consistent with the prediction series. The time series analysis fit chart of the model for the noon hours was presented in Figure 9.

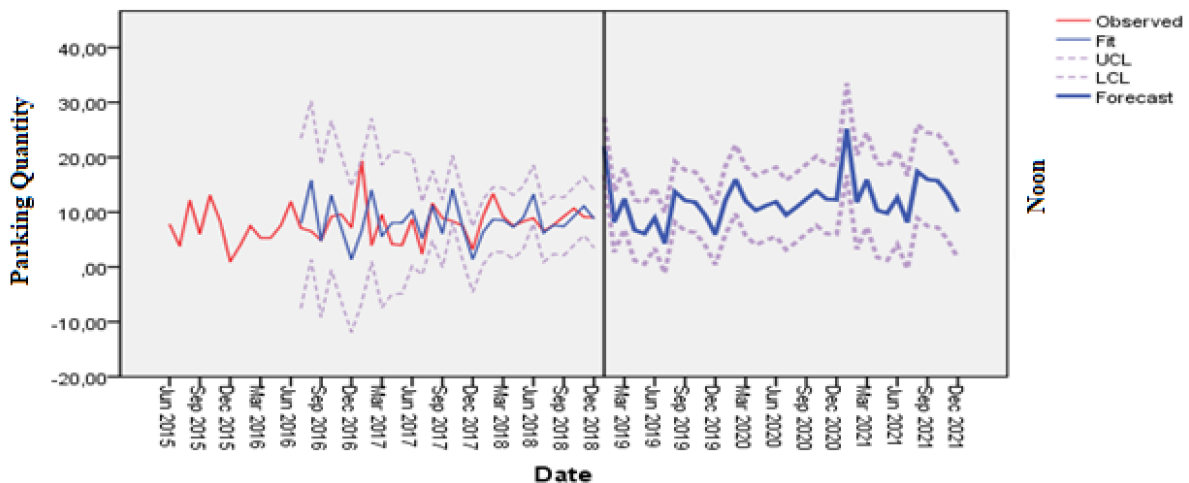


Figure 9. ARIMA (1,1,1) (1,1,1) model prediction series

It was observed that there was a seasonal fluctuation in the chart. In addition to the fit in the graph, it was observed that parking peaked at certain minutes of noon times. It was also observed that parking at noon hours was between the upper and lower confidence intervals. In the parking time series analysis model performed in the evening hours, the graphs of the confidence interval prediction series and the original series were drawn together and the graphic in Figure 9 was obtained. The fact that the fit and series within the confidence

intervals in the graphic indicated how much the model was statistically significant. It was noticed that the ACF and PACF graphs the error terms of the time series analysis model appeared as result of parking in evening hours were within the confidence intervals, the delays were found to be fit, and the model was tested statistically significant. The model results were observed to be significant In Figure 10 indicating the prediction series, original series and confidence intervals.

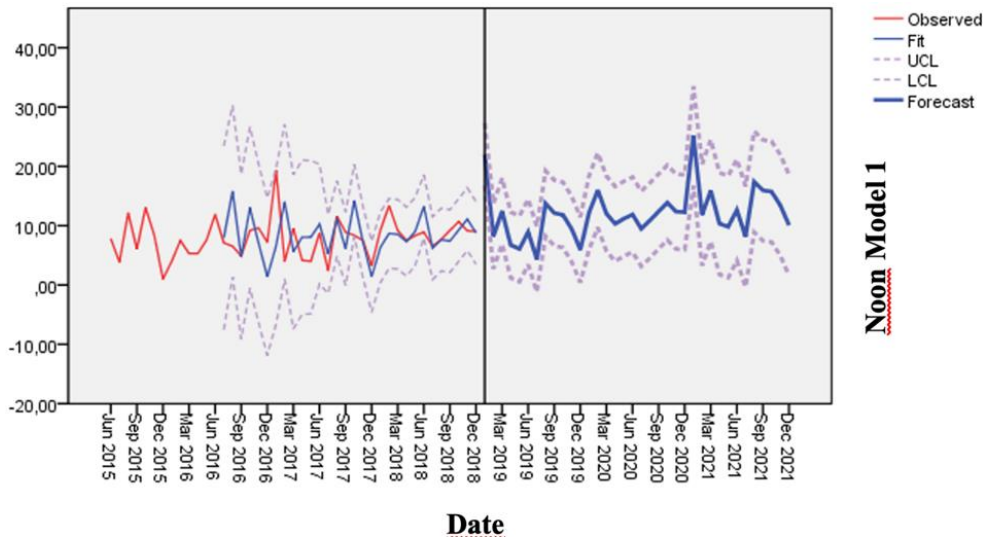


Figure 10. Prediction series graphic for ARIMA (1,1,1) (1,1,1) model

In Figure 11, the fit graph of the prediction series and original series according to the analysis results of the parking in the evening hours was drawn, and the compliance was possible to be observed. It was

observed that the most suitable model was ARIMA (1,1,1) (1,1,1) model, and this was also the most statistically significant model.

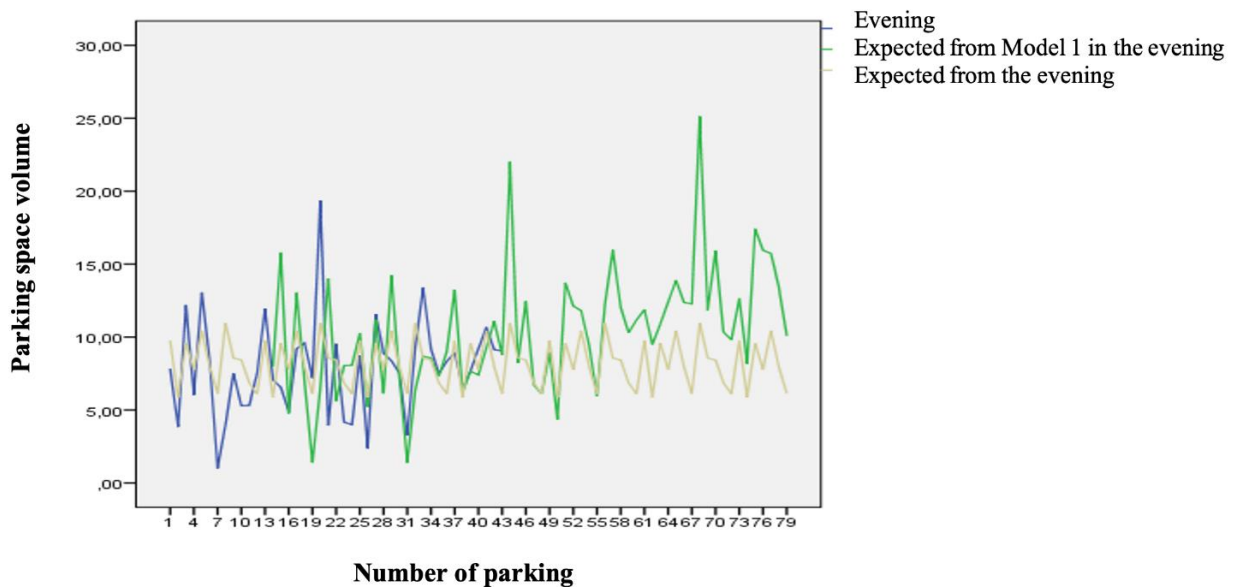


Figure 11. ARIMA (1,1,1) (1,1,1) model prediction series for evening hours

Time series and ANN estimation results are compared in Figure 12.

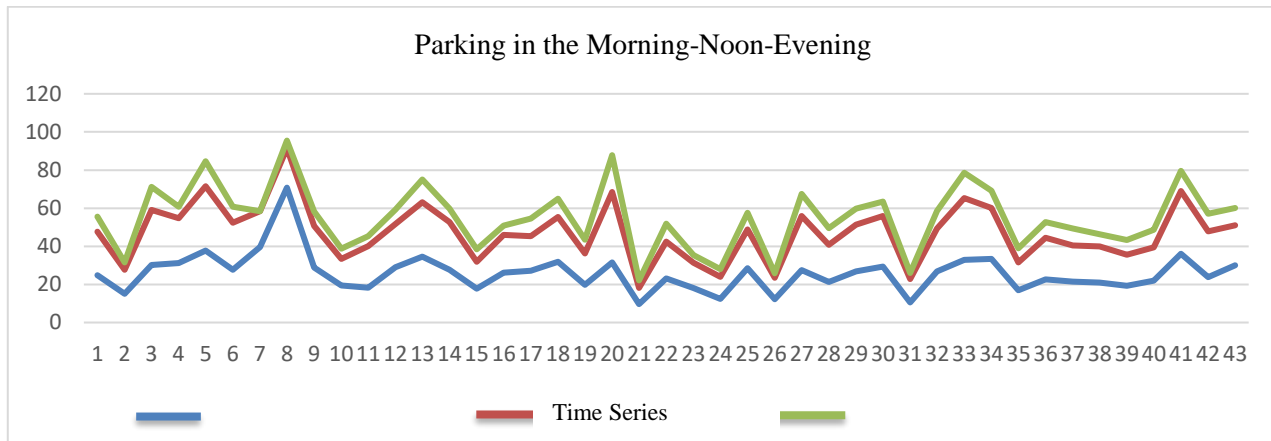


Figure 12. Comparison of time series and ANN prediction results with the original series

In Figure 12, the fit graph of the total parking in the morning, noon, and evening hours according to ANN and time series prediction model was drawn and the compliance was observed.

4. Conclusion and recommendations

In the study, the number of cars that parked in 44 different parking spaces in three time zones as the morning, noon and evening were statistically analyzed with time series Box-Jenkins model and ANN model. Prediction series were created for the following 5 years, and the trend in parking numbers was analyzed.

According to the number of car parks in the morning, noon and evening hours, ARIMA (1,1,1) (0,0,0), ARIMA (1,1,1) (1,0,0), ARIMA (1,1,1) (1,1,1), ARIMA (2,2,2) (1,1,1) models were created, and it was noticed that the most suitable model was ARIMA (1,1,1) (1,1,1). Since the lags were within the confidence intervals in ACF - PACF graphs with the highest coefficient of determination $R^2=0.62$ and the lowest AIC (Akaike Information Criteria), it was accepted as the most statistically significant model when compared to the others.

When ANN was compared with time series, ANN revealed statistically more significant results due to the success of ANN method in solving more complex structures. $R^2=0.83$ AIC information criterion was lower and fit graphics (Figure 11) were found to be more significant. Since hourly time series data were used, a seasonal fluctuation was immediately noticeable in the graphics, and, the seasonal difference was obtained in the model due to this fluctuation's reflecting fit in the model results. According to the predictions related to the future, a 32.8% increase was expected in the

number of parking for the following two years. If the parking suggestions were not taken into consideration by the local administrators, it would be obvious that the traffic of looking a parking space caused by the drivers who could not find a parking space in the following two years would increase and cause greater transportation problems.

Besides the existing car parks were insufficient in the city center, it was determined that the existing car parks were not used efficiently due to the lack of sufficient control of the vehicles that parked on the road. It should be ensured that a pricing system deterring long-term parking in the roadside parking areas should be established and fees should be collected more seriously. The side streets opened by the Erzincan Municipality to reduce the traffic congestion of the city center, alternative roads, charged parking system, taking car dealerships outside the city were among the studies possible to be carried out to create solutions.

In addition, when the start and increase of parking in the city center in the morning hours was analyzed, it was determined that the parking traffic had regular customers. It was observed that on-street parking areas were occupied from the early hours of the morning until the evening hours, and the drivers looking for parking spaces could not find a place and created a kind of searching traffic in addition to the existing traffic. It was determined that one of the traffic lanes was completely occupied by parked cars in the road parking areas in the city center during peak hours, and the total length of the occupied lane was calculated to be 6420m. The total lane length to be occupied for the following two years was considered to be 8520m with the increase in the number of vehicles to park that calculated to be 32.8%. The lane length a

vehicle occupied when parked was approximately 6m. In this case, it was predicted that the parking lots suggested to be built at determined points would reduce the parking load in the center with an additional capacity increase of 1420 vehicles in total. The parking standards for Turkey were specified in parking regulations updated in 2018. According to this regulation, 20m² area was needed for each vehicle including the maneuvering area. For this reason, approximately 24.800m² parking area was calculated to meet the need for a new car park capacity of 1420 vehicles. For reducing the parking density in the city center, 6 new parking areas were determined with the help of spatial analysis outputs determining the points where the parking lot requirement was the most in the light of vehicle counts and collected information. In addition to the spatial analysis outputs in determining new parking areas, it was determined that the city center was the busiest, and the Dörtöyl and its surrounding where a large part of the trade areas took place needed more parking lots. Furthermore, expropriation and construction costs were also regarded for choosing new parking areas. Three out of 6 chosen new parking areas (2, 3, 5) were the locations of the business center, hospital and stadium where the construction process would be started, and at these points, the parking areas to be included in the existing construction plans would provide a great advantage in terms of cost. Similarly, in the light of the information taken from Erzincan Municipality for areas of 1, 4 and 6, it was considered that new and modern constructions would be made within the framework of urban transformation in near future and a great advantage

would therefore be provided in terms of construction cost including parking lots in planned urban transformation projects. In conclusion, new parking areas suggested to be built in the city center, especially in the main arteries and narrow streets and alleys close to the center would eliminate parking traffic and lead to a great relief.

These points are as follows and are marked on the map in Figure 13:

- 1- Construction of a closed 4-storey parking lot for 200 vehicles for a total of 4000m² in the empty part of the existing garden of the Science and Art School.
- 2- Creating a parking garage for approximately 120 vehicles in an area of 2400 m² in the basement of the new building of the Kızılay Commercial Center.
- 3- Constructing a parking area including a parking lot of 350 vehicles in the project of the state hospital to be renovated with a total of 7000m² closed and open area.
- 4- The construction of the open field in Buğday Square as a 2-storey basement car park with a capacity of 150 vehicles with 3000m² total capacity going down to -2 floor from the basement.
- 5- Constructing a 300-vehicle car park area with a total of 6000m² indoor and outdoor parking areas planned to be built for the newly built city stadium.
- 6- Due to the lack of available space in the Merkez Çarşı and the need for urgent parking, planning a 300-vehicle parking lot constructing a 4-storey car park with a total of 6000m².



Figure 13. 6 new parking lots planned to be built on the existing parking density areas

In reference to all these, the information obtained at the end of inventory studies was collected in the form of Geographical Information System (GIS), and it was predicted that the new parking areas proposed to be built close to the areas with parking density would provide a great solution for the parking problem. In conclusion, the study revealed that the traffic problems could be solved determining the right areas for new parking lots with a correct development study.

References

- Ahmad, S., Khan, I. H. and Parida, B. (2001). Performance of stochastic approaches for forecasting river water quality. *Water Research*, 35(18), 4261–4266. [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(01\)00167-1](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(01)00167-1)
- Alkheder, S. A., Rajab, M. M. A. and Alzoubi, K. (2016). Parking problems in Abu Dhabi, UAE toward an intelligent parking management system. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), 2679–2687. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.06.012>
- Aslan, Ş., (1998), Transformation of informal sectors in terms of urban sociology: Parking sector in Istanbul, Master Thesis, Mimar Sinan University Institute of Social Sciences, Istanbul.
- Barhani, E., (2007), Parking management strategies for sustainable transportation: case study for İstanbul, Master Thesis, Boğaziçi University Institute of Social Sciences, İstanbul.
- Cadenas, E. and Rivera, W. (2010). Wind speed forecasting in three different regions of Mexico, using a hybrid ARIMA–ANN model. *Renewable Energy*, 35(12), 2732–2738. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.04.022>
- Chattopadhyay, S. and Chattopadhyay, G. (2010). Univariate modelling of summer-monsoon rainfall time series: Comparison between ARIMA and ARNN. *Comptes Rendus Geoscience*, 342(2), 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2009.10.016>
- Çıkman, G., (2003), A research for the request of parking spaces in cities and design options, Master Thesis, Dokuz Eylül University Institute of Science, İzmir.
- Çiçek, C. (2015). Investigating the applicability of new technologies used in parking lots in Turkey. Master Thesis, Eskişehir Osmangazi University Institute of Science, Eskişehir.
- Dey, S. K., Shamim, R. M. R., Islam, M. A. and Rahman, M. M. (2019). ParkEasy: An embedded model to mitigate car parking problems using iot technology. In 2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT) (Vol. 2019, pp. 1–7). <https://doi.org/10.31590/ejosat.792594>
- Durduran, Ş.S. Gümüş, G.G., Bozdağ, A. and Beyhan, C.H. (2018). Route optimization over pedestrian roads using geographic information systems, *Ömer Halis Demir University Journal of Engineering Sciences*, 7, (1), 180- 189. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.386473>
- Gökdağ M. and Yarbaşı S., 10.10.2018., A research on parking lots as one of the transportation problems and an Erzurum case, Access address <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr>.
- Green, S., (2021, January 22). Time series analysis of stock prices using the box-Jenkins approach. <https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1668&context=etd>
- Güngör, E.K., (2006), Parking problem in Konya city center and recommendations, Master Thesis, Selcuk University Institute of Science, Konya.
- Haldenbilen, S., Murat, Y., Baykan, N. and Meriç, N. (1999). Parking problem in cities: a Denizli case, *Journal of Engineering Sciences*, 5: 2-3: 1099-1108.
- Hanchette, L. (2014). *Geographic Information Systems*, 399–427.
- İskender, E., (2010), Design and application examples of real-time on-site research system for parking lot survey methodology, Master Thesis, Bahçeşehir University Institute of Science, İstanbul.
- Kaplan, H. and Yıldız, D., (2002), Investigating the relationship between car park areas and pedestrian areas in Ankara city center in terms of road and traffic safety in Kızılay case, Master Thesis, Gazi University Institute of Science, Ankara.
- Karasar, İ. (1994), *Scientific Research Methods* (87), İstanbul, Nobel Publications.
- Kargı, B., (2013), Minimum wage in Turkey and time-series analysis on growth (2005-2012), *Journal of Labor and Society*, 37, 183-210.
- Özbuğday, T. I., (2009), Determining the need for parking in Antakya city development plans and examining in terms of landscape architecture, Master Thesis, Mustafa Kemal University Institute of Science, Hatay.
- Özdemir, İ., (2006), Park and go facilities and Harem parking lot case, Master Thesis, Yıldız Technical University Institute of Science, İstanbul.

- Özel, S., (1996), Parking problem in Istanbul: Şişli-Beşiktaş cases, Master Thesis, Istanbul Technical University Institute of Science, Istanbul.
- Özen, M., (2014), Parking lot planning and management in small cities, an Artvin case, Master Thesis, Yıldız Technical University Institute of Science and Technology, Istanbul.
- Remoaldo, P. C. A., Ribeiro, V., Lopes, H. S. and Silva, S. C. G. (2018). Geographic Information Systems (pp. 3460–3472).
- Sandal, E., K. and M., Traş, (2009), Transportation problems in Kahramanmaraş and the public's view on transportation system and problems, Eastern Geography Journal, 14, 21, 137-157.
- Strasser, M., Mauser, D. and Albayrak, S. (2016). Reducing traffic problems integrating smart parking solutions into an interconnected ecosystem. 2016 IEEE Symposium with Computer and communications (ISCC) (pp. 32-37).
- Varol, T., Özel, H. B. and Macaroğlu, K. (2010). The possibilities of using network analysis in forest fires (Yenihan forest management directorate case study). 2010, III. National Black Sea Forestry Congress, Artvin.
- Yılmaz, P. and Bilgiç, Ş., (2006), Evaluation of park-and-ride application in Eskişehir city center within the context of sustainable transportation, 7th Transportation Congress, Yıldız Technical University, Istanbul.
- Yomralıoğlu, T., (2000), Geographic Information Systems Basic Concepts and Applications, Istanbul, Academy Publishing.
- Wang, H. R., Wang, C., Lin, X. and Kang, J. (2014). An improved ARIMA model for precipitation simulations. Nonlinear Processes in Geophysics, 21(6), 1159–1168. <https://doi.org/10.5194/npg-21-1159-2014>
- Wang, D., Han, X. and Xing, G. (2016). Research on fundamental solutions to curb parking problems in city. International Conference on Green Intelligent Transportation System and Safety, 439–445.

Sentinel-1 uydusu ile deprem kaynaklı yüzey çökme analizi: Sivrice-Doğanyol-Pütürge örneği

Earthquake induced surface subsidence analysis with Sentinel-1 satellite: Sivrice-Doğanyol-Pütürge

Aseña KARSLIOĞLU^{1,a}, Mehmet Hanifi ALKAYIŞ^{2,b}, Mehmet İnanç ONUR^{1,c}

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26555, Eskişehir

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

• Geliş tarihi / Received: 15.01.2021 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 08.03.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 13.03.2021

Öz

Depremler, önlem alınmadığı takdirde büyük can ve mal kayıplarına neden olan doğal afetler arasındadır. Türkiye’de fay hareketlerine bağlı olarak geçmişten günümüze yer sarsıntıları yaşanmaktadır. Depremler sırasında oluşan titreşimler geçtikleri ortamlarda çeşitli şekil değiştirme ve deformasyonlara neden olmaktadır. Zeminlerde oluşan deformasyonlar ise etkileşim içerisinde olduğu yapıların stabilitesinin bozulmasına neden olabilmektedir. Bu çalışmada 2020 yılında yer sarsıntıları yaşanan Sivrice/Elazığ başta olmak üzere, Sivrice (Elazığ)-Doğanyol (Malatya)-Pütürge (Malatya) ilçelerini kapsayan alanda deprem kaynaklı yüzey çökme analizi yapılmıştır. 24 Ocak 2020 Cuma günü saat 20.55’de Elazığ ili Sivrice ilçesinde Mw = 6.8 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Sentinel-1 verileri kullanılarak 14 Haziran 2019 ile 8 Haziran 2020 tarihleri arasındaki çeşitli depremlerle ilişkili yüzey çökmesi SNAP yazılımında belirlenmiştir. Çalışma alanında hesaplanan dikey yer değiştirmenin -19 cm’den (Doğanyol ve Pütürge kuzeydoğusunda) 32 cm’ye kadar (Doğanyol ve Pütürge kuzeyi ile Sivrice güneybatısında) değiştiği belirlenmiştir. Dikey yer değiştirme değerleri jeolojik birimler ile karşılaştırıldığında; yükselme alanları çalışma alanının kuzey-batı kısmındaki Paleojenik birimde tespit edilmiştir. Çalışma alanının güney kısmında yer alan Paleozoik ve prekambriyen metamorfik kayaçların bulunduğu jeolojik birimde ise çökme alanları gözlemlenmiştir. Meydana gelen depremlerle ilişkili yüzey çökme dağılımının belirlenmesi, gelecekte olası büyük deformasyon alanlarının tahminine yardımcı olacağı ve önlemler geliştirilebileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Deprem, Elazığ, SAR, Sentinel-1, Yüzey çökmesi

Abstract

Earthquakes are among the natural disasters that cause great loss of life and property when no precautions are taken. Depending on the fault movement in Turkey, there are earthquakes from past to present. Vibrations that occur during earthquakes cause various deformations in the medium they pass through. The deformations that occur in the soils can cause the stability loss of the structures. In this study, earthquake-induced surface subsidence analysis was carried out in the area covering Sivrice/Elazığ, Sivrice (Elazığ) - Doğanyol (Malatya) -Pütürge (Malatya) districts, where earthquakes were experienced in 2020. On Friday, January 24, 2020 at 20.55, an earthquake of Mw = 6.8 occurred in Sivrice district of Elazığ province. Using Sentinel-1 data, surface subsidence associated with various earthquakes between June 14, 2019 and June 8, 2020 was determined in the SNAP software. It is determined that the calculated vertical displacement in the study area varies from -19 cm (northeast of Doğanyol and Pütürge) to 32 cm (north of Doğanyol and Pütürge and southwest of Sivrice). When vertical displacement values are compared with geological units; heave areas are observed in the Paleogenic unit in the north-west part of the study area. Subsidence areas are observed in the geological unit where Paleozoic and precambrian metamorphic rocks located in the southern part of the study area. Determining the surface subsidence distribution associated with the earthquakes revealed that it will help the prediction of possible large deformation areas and precautions can be developed.

Keywords: Earthquake, Elazığ, SAR, Sentinel-1, Surface subsidence

^{ab} Mehmet Hanifi ALKAYIŞ; mehmethanifi@alkayis@gmail.com, Tel: (0532) 764 60 02, orcid.org/ 0000-0003-0177-043X

^a orcid.org/ 0000-0001-5178-4069

^c orcid.org/ 0000-0002-2421-4471

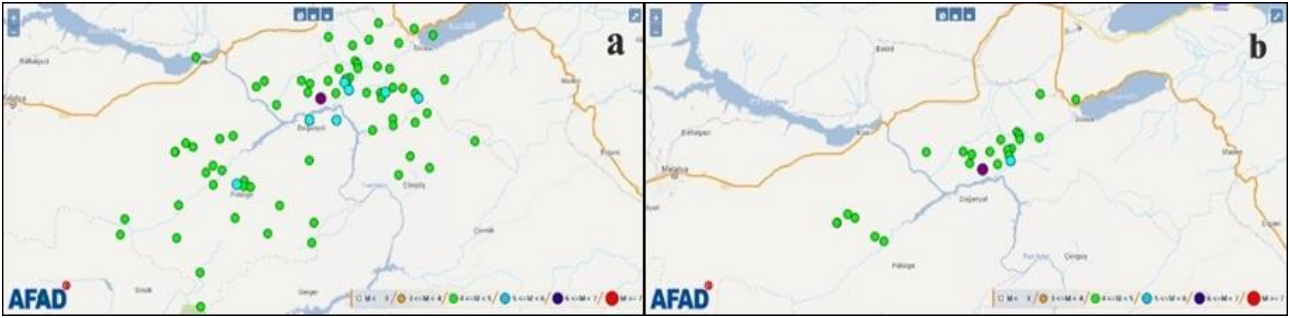
1. Giriş

Zeminlerde deformasyonların meydana gelmesine sebep olan dinamik etkilerden en tesirlisi ve en yaygın görüleni deprem etkileridir. Depremler yer kabuğunun kırılması ile oluşan titreşimlerin geçtikleri ortamları sarsma olayı olarak adlandırılmaktadır. Deprem etkisi ile farklı zeminlerde farklı deformasyonlar meydana gelmektedir. Depremlerde görülen zemin deformasyonları ise; yüzey yırtılması, bölgesel çökme, yamaç hareketleri, hacimsel sıkışma, sıvılaşma, oturma ve tasıma gücü yenilmeleri, akma kaymaları, yanal yayılmalar, kum volkanları şeklinde sıralanmaktadır (Onur, 2007).

Türkiye; Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı ve Batı Anadolu Fay zonları içerisinde olmasından dolayı tarihten bu yana depremlerin etkisi altındadır. Tektonik yapısı nedeniyle arazisinin büyük bir kısmını sismik tehlike

altındadır. Bununla birlikte, Avrasya-Arap-Afrika levhası arasında yer alan Türkiye, her döneminde yıkıcı depremler ile karşılaşmıştır.

Türkiye'de ve yakın çevresinde sismik aktivite 1900'lerden beri aletsel olarak gözlenmektedir. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) ile Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Türkiye'deki iki ana sismik ağ operatörüdür (Kadirioğlu vd., 2018). Geçmiş deprem kayıtlarına göre 1939 Erzincan, 1999 Gölcük ve Düzce, 2011 Van ve 2020 Elazığ depremleri Türkiye'yi etkileyen yıkıcı depremlerin başında gelmektedir. 2020 yılı Ocak-Haziran ayları arasında Sivrice-Doğanyol-Pütürge'yi etkileyen Pütürge Segmenti aktifleşmiştir. Şekil 1'de bu bölge için 2000 – 2020 yılları ve 2019 – 2020 yılları arasında 4.0'dan büyük depremler gösterilmektedir.



Şekil 1. Sivrice-Doğanyol-Pütürge'de görülen $M \geq 4$ depremler, (a) 2000 – 2020 yılları arasında, (b) 2019 – 2020 yılları arasında (AFAD, 2020)

Elazığ ili Sivrice ilçesi Çevrimtaş köyü 800 m kuzeyinde 24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen büyüklüğü 6.8, derinliği 8.05 km olan deprem, merkez üssüne 750 km mesafede 42 il merkezinde hissedilmiştir. Depremin merkez üssü ve yakın civarında Modifiye Marcellı Şiddet cetveline (MMI) göre maksimum şiddet IX (şiddetli) olarak hesaplanmış, 41 kişi yaşamını yitirmiş ve 1607 kişi yaralanmıştır. 547 bina tamamen yıkılmış, 6270 binada ağır hasar, 962 binada orta hasar ve 10273 binada az hasar meydana gelmiştir (AFAD, Şubat 2020).

2014 yılında uzaya gönderilen Sentinel-1A, Avrupa radar görüntüleme uydusudur. İnterferometrik Sentetik Açıklık Radarı (InSAR), gün ve hava koşullarında çalışma yetenekleri, geniş uzaysal kapsama alanı, ince uzaysal çözünürlüğü, yüksek ölçüm hassasiyeti ile öne çıkan gelişmiş bir jeodezik araçtır. Aynı alan üzerinde ancak farklı zamanlarda elde edilen iki SAR görüntüsü arasındaki faz farklarından yararlanarak InSAR,

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturmak ve zaman aralığı sırasında meydana gelen yer hareketini ölçmek için kullanılabilir (Zebker ve Goldstein, 1986; Gabriel vd., 1989). Yer hareketini haritalamak için InSAR teknolojisi genellikle diferansiyel InSAR (DInSAR) olarak adlandırılır (Hu vd., 2014). Depremler, volkanik patlamalar ve heyelanlar sonucu meydana gelen yüzey çökmesini incelemek için uydular tarafından elde edilen Sentetik açıklıklı radar (SAR) görüntülerinin kullanımını içeren radar interferometrisi yaygın olarak kullanılmaktadır. SAR cihazı, C bandı radyo dalgaları yayarak yansımalarını yerden alır. SAR verilerini kullanarak, yüzey altı nükleer patlamalar nedeniyle yer değiştirme haritalaması da dâhil olmak üzere, dünyanın farklı yerlerindeki araştırmacılar tarafından diferansiyel DInSAR tekniği ile oldukça hassas yer değiştirme haritaları oluşturulmuştur (Amos, 2016).

Solaro vd., (2016) 16 Eylül 2015'te Şili açıklarında meydana gelen $M_w = 8,3$ depremin sebep olduğu yüzey deformasyonunu Sentinel-1 verileriyle incelemiştir. DInSAR analizi sonucunda doğu-batı yer değiştirme haritası yaklaşık 210 cm'lik batıya doğru yer değiştirmeyi belirtirken; dikey yer değiştirme haritası, kıyı boyunca yaklaşık 20 cm'lik çökme ve yaklaşık 25 cm'lik bir yükselme alanını göstermektedir. Xu vd., (2018) İran, Türkmenistan ve Afganistan'ın üçlü sınırının yakınında 2017 yılında meydana gelen 6,1 büyüklüğündeki (M_w) Sangsefid depremiyle ilişkili yüzey çökmesini belirlemek için Sentinel-1 SAR'ı kullanmıştır. Abdikan vd., (2019) 6 Şubat 2017 tarihinde Ayvacık-Çanakkale $M_w = 5,3$ depremini DInSAR tekniği ile analiz etmiştir. Çalışma sonucunda, etkilenen alanlarda dikey yönde yaklaşık 9 cm yer değiştirme belirlenmiştir. Mevcut yapıların deprem ile etkileşimini öngörebilmek için kıtasal deformasyonun mekaniğini ve karmaşık tektonik deprem potansiyelini tahmin etmek gereklidir. Bu sebeple, sol-yanal atımlı Haiyuan fayının yakınında meydana gelen 2016 Menyuan (Qinghai) depremiyle ilişkili deformasyonu araştırmak için Sentinel-1 radar görüntülerini kullanmışlardır. Yükselen ve alçalan interferogramlardan, maksimum yer değiştirmeler +58mm ve -68 mm olarak saptanmıştır (Wang vd., 2017).

2019'da Filipinler Mindanao'da art arda $M_w > 6,4$ olan dört güçlü deprem meydana gelmiştir. Araştırma raporlarına göre bu depremlere doğrultu atımlı kırılmalar neden olmuştur. Bu depremlerin zamansal ve mekânsal olarak ilişkisini anlamak için Sentinel-1 SAR verileri ile InSAR teknikleri kullanarak deprem kaynaklı yer değiştirme alanları incelenmiştir. InSAR deformasyon ölçümleri ile dört depremin farklı yer değiştirme modelleri ürettiği ortaya konulmuştur. Deprem serisinin, iki dikey sol yanallı doğrultu atımlı fay ve iki sağ yanallı doğrultu atımlı fay içeren birleşik bir fay yapısının yeniden harekete geçmesinden kaynaklandığı elde edilmiştir (Li vd., 2020). Ali vd., (2019) Pakistan'ın Pasni kıyısındaki $M_w = 6,3$ depreminin sebep olduğu arazi çökmesini incelemek için Sentinel-1 verilerini kullanmıştır. Araştırmada çalışma alanının çoğunlukla, deprem öncesinde aylık süre içerisinde 3 cm arazi yükselmesi gözlenirken deprem sonrası ise 12 günlük sürede toplamda 3 cm çökme gözlemlenmiştir. Çalışma alanının büyük bir bölümü ince kum, silt, ince tabakalı kumtaşı ve kalın tabakalı çamur taşı olduğundan, deprem sonrası hızlı bir çökme hareketi gözlemlenmiştir. İleride olabilecek sismik hareketlerin bölgenin altyapısına ve ekolojisine önemli zararlar verebileceği vurgulanmıştır.

Karshoğlu vd., (2020) Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde meydana gelen bölgesel çökmeleri DInSAR tekniği ile analiz etmiştir. Konya ili Karapınar ilçesinde bölgesel çökmenin 5-10 cm/yıl olduğu, bu değer maksimum 16 cm/yıl'a ulaşabileceği belirlenmiştir. Suresh ve Yarrakula (2020) 12 Kasım 2017'de İran/Irak sınırında 500'ün üzerinde insanın yaşamını yitirdiği 7.3 büyüklüğündeki depremden kaynaklanan yüzey çökmesini DInSAR kullanılarak ölçülmesine odaklanmıştır. Thomas (2020) yapmış olduğu çalışmada ise 3 Nisan 2017 tarihindeki 5.2 büyüklüğündeki Stilfontein depremiyle ilişkili yer değiştirmeleri tespit etmek için Sentinel-1 SAR verilerine uygulanan DInSAR tekniğini kullanarak radar interferometresinden elde edilen yüzey çökme haritalamasını kullanmıştır. Yaptığı diğer bir çalışmada Thomas (2020), Sentinel - 1 verileri ve SNAP kullanılarak 3 Nisan 2017'deki 6,5 büyüklüğündeki Botsvana depremiyle ilişkili yüzey deformasyonunun haritalanması için DInSAR analizi gerçekleştirmiştir. Hesaplanan dikey yer değiştirme -12.2 cm ile +13.6 cm arasında değişmektedir. Bayık (2021) 14 Haziran 2020 tarihinde Karlıova (Bingöl) 'de meydana gelen $M_w = 5.7$ depreminin neden olduğu yüzey deformasyonu, farklı geliş açalarına sahip Sentinel-1 SLC görüntüleri ile belirlemiştir. InSAR tekniği $M_w < 6$ olan depremlere uygulanmadığından sonuçların sağlanması için çalışmada iki yükselen ve iki alçalan yörünge kullanılmıştır. Depremin yarattığı maksimum yatay yer değiştirme doğuda 13 cm, batıda 15 cm olarak elde edilmiştir. Ayrıca düşey yönde fayın kuzey kesiminde 10 cm'ye kadar yükselme ve fayın güney kesiminde 10 cm'ye kadar çökme tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada doğu Kachch havzasını etkileyen aktif yüzey çökmesini, Envisat ve Sentinel-1 radar görüntülerini kullanarak DInSAR tekniği ile araştırılmaktadır. ENVISAT-ASAR verileri kullanılarak elde edilen 2003-2005 yılları için 0,2-0,3 cm, 2006-2009 yılları için 0,19-0,22 cm ve 2018-2020 Sentinel-1A verilerinin analizine göre ise 0,16-0,18 cm kümülatif bir yer değiştirme elde edilmiştir. Çalışma alanında daha zayıf yapılardan oluşan bölgelerin gelecekte büyük bir depremi tetikleyebileceği vurgulanmıştır (Lakhote vd., 2020).

Doğu Anadolu Fay (DAF) sistemi boyunca meydana gelen depremler, Türkiye'de görülen ve büyüklüğü 4.0 ve üzeri olan bütün depremlerin % 4.2'sini oluşturmaktadır. DAF üzerinde en son 1893 yılında Çelikhan-Gölbaşı segmentinde olan 7.3 ve 1905 yılında Hazar-Sincik segmentinde 6.8 büyüklüğündeki hasar yapıcı depremler meydana

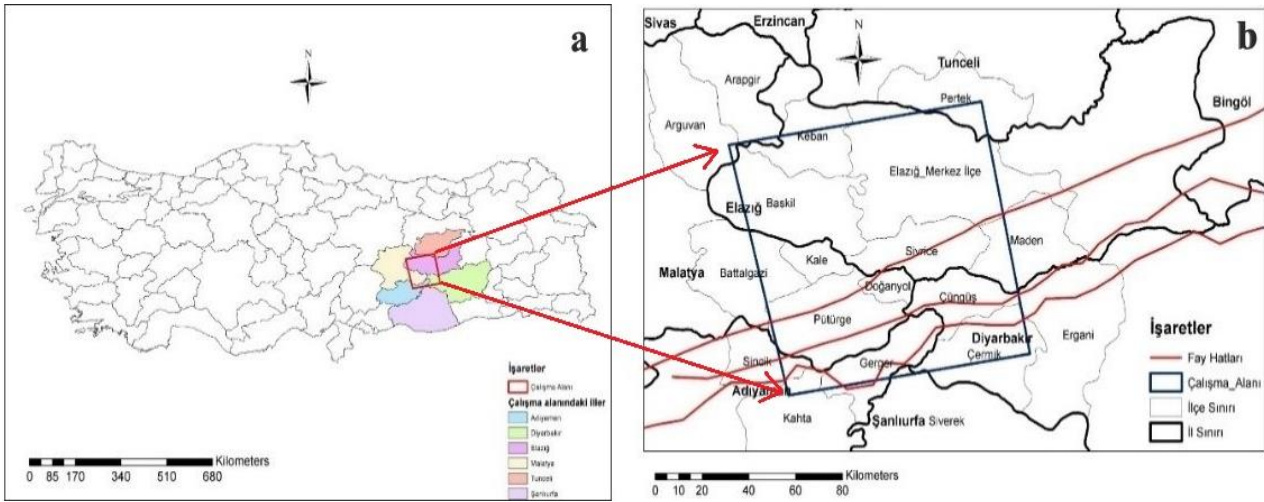
gelmiştir. Uzun zamandır aktif olmayan DAF üzerinde, Elazığ'da meydana gelen 6.8' lik deprem sonrasında özellikle Sivrice-Malatya-Adıyaman yöresinde depremlerin görüleceği tahmin edilmektedir. Sivrice-Doğanyol-Pütürge bölgesi bu çalışma için araştırma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanında, 24 Ocak 2020 ile 24 Şubat 2020 tarihleri arasındaki aylık veriler değerlendirildiğinde; ana şok dâhil olmak üzere toplamda 3080 adet deprem meydana geldiği ve bu artçılardan 26 tanesinin 4.0 ve üzeri büyüklükte olduğu belirlenmiştir. Risk teşkil eden bu bölgelere dikkat çekmek için Elazığ-Sivrice bölgesinde DInSAR tekniğini kullanılarak depremlerin oluşturduğu yüzey çökmeleri incelenmiştir. Çalışma alanında birçok deprem görülmesinden

dolayı hem 1 yıllık analiz hem de 6.8'lik depremi içine alan 1 aylık analiz gerçekleştirilmiştir.

2. Çalışma alanı ve yöntem

2.1. Çalışma alanı

Çalışmada Doğu Anadolu Fay Hattında bulunan Sivrice(Elazığ) - Doğanyol(Malatya) - Pütürge(Malatya) yerleri için 14/06/2019 ile 08/06/2020 ve 04/01/2020 ile 04/03/2020 tarihlerine ait dört görüntü indirilmiştir. Görüntüler için 250 km tarama alanı ve 5 m x 20 m mekânsal çözünürlükle kaydedildiği İnterferometrik Geniş Alan modu (IW) SLC formatı ve VV polarize C-band verileri kullanılmıştır. Şekil 2'de gösterilen çalışma alanı 8192,80 km²'dir.

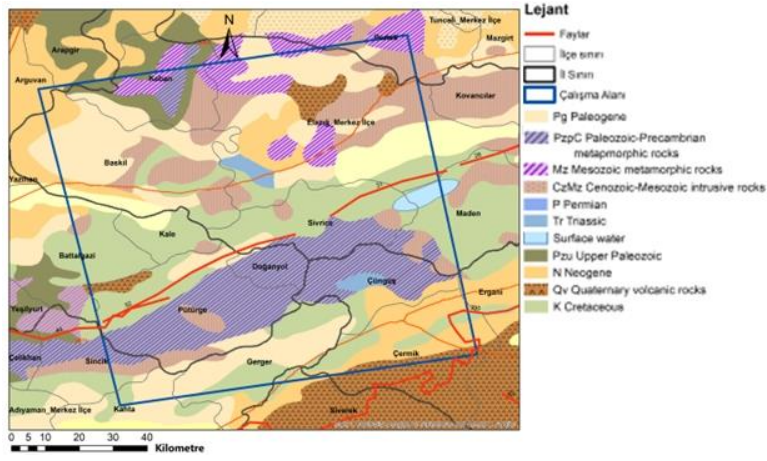


Şekil 2. Çalışma alanı

Jeolojik haritaları fay hatları gibi oluşumlar ile kaya birimleri arasındaki ilişkiyi gösteren haritalardır. Şekil 3'te çalışma alanının jeoloji haritası gösterilmektedir. Bu harita ArcGIS çevrimiçi veri tabanında bulunan Avrupa Jeoloji Haritasındaki verilerin kullanılması ile oluşturulmuştur. Çalışma alanı için revize edilerek kullanılmıştır.

Elazığ-Sivrice depremi, sismolojik verilere göre DAF zonunun orta kısmında bulunan Pütürge

Segmentinde meydana gelmiştir. Pütürge Segmenti boyunca, Paleozoyik-Alt Mesozoyik kayalar ve Mesozoyik-Senozoyik yaşlı ofiyolitik melanj bulunmaktadır (Hempton, 1985; Herece ve Akay, 1992; Yazgan, 1984). Elazığ ili Sivrice ilçesi ile Fırat Nehri arasında, Kuvaterner yaşlı çökeller yer almaktadır. Doğanyol batısından, Şiro Çayı vadisine ilerleyen fay, sol yönlü doğrultu atımlı aktif tektonik morfolojiyi göstermektedir (MTA, Şubat 2020).



Şekil 3. Çalışma alanı jeoloji haritası

2.2. Yöntem

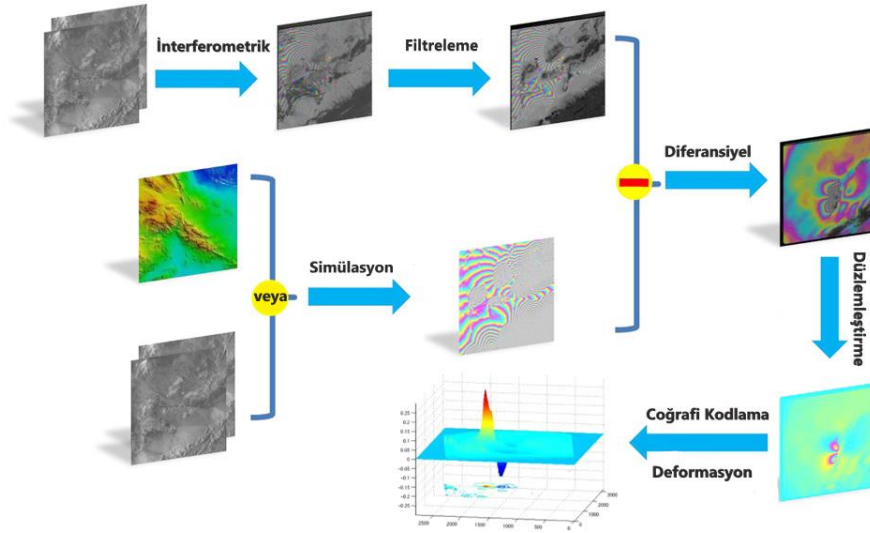
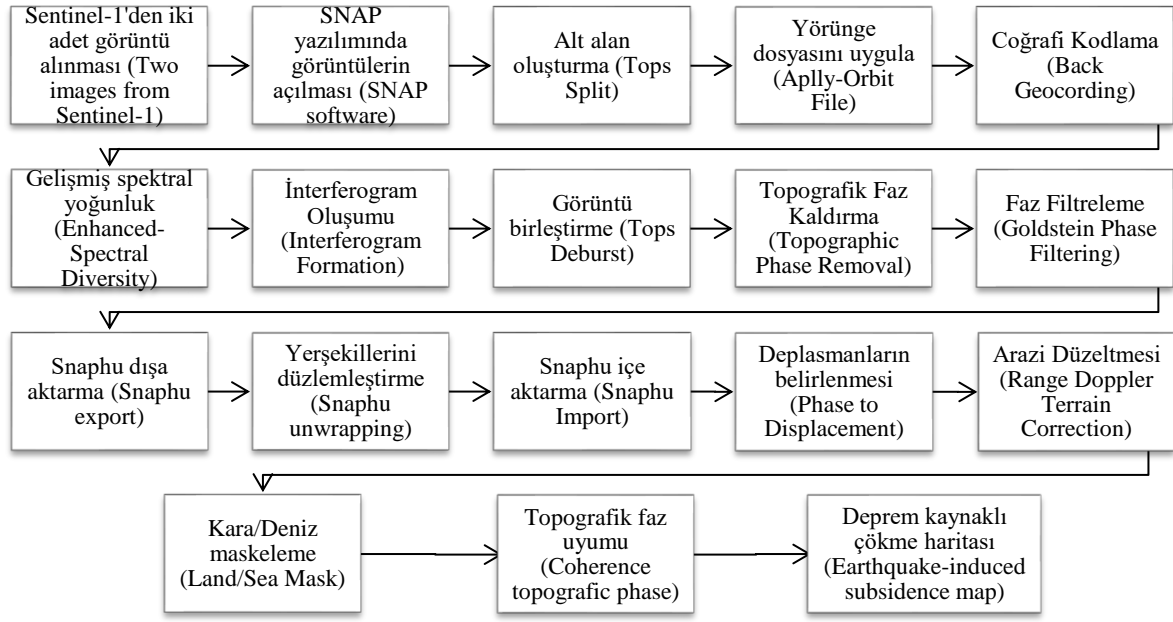
Sentinel-1 verilerine ücretsiz ve kolay erişim olmasından dolayı, veriler birçok uygulamada kullanılmaktadır. Sentinel-1, 4 özel mod şeklinde çalışmaktadır. Her mod için SAR Level-0, Level-1 Single Look Complex (SLC), Level-1 Ground Range Detected (GRD) ve Level-2 Ocean (OCN)'de veriler üretmek mümkün olmaktadır. Seviye-1 SLC ürünleri, uydudan gelen yörünge ve tutum verilerinden yararlanarak coğrafi referanslı ve sıfır doppler eğimli menzil geometrisinde sağlanan odaklanmış SAR verilerinden oluşur. Ürünler, tam aktarım sinyali bant genişliğini kullanan her boyutta tek bir görünüm içerir ve faz bilgisini koruyan karmaşık örneklerden oluşur. İnterferometrik Geniş Alan modu (IW) faal durum mod olması ile mevcut servis gereksinimlerinin çoğunu karşılar, uyumsuzlukları önler ve görev planlamasını basitleştirir. Büyük bir tarama alan genişliğini (250 km) orta bir geometrik çözünürlükle (5 m x 20 m) birleştirilmesini sağlamakla birlikte arazi üzerinde kullanılabilir (URL-1, 2020).

InSAR, iki SAR görüntüsü arasındaki faz farkına dayanarak dünya yüzeyindeki yer değiştirmeleri birkaç santimetre veya daha düşük bir hassasiyetle ölçmek için kullanılır. İki SAR görüntüsü bir depremden önce ve sonra elde edilirse, faz farkının bir kısmı, uydu görüş hattı yönündeki yüzey çökmelerinin tek boyutlu ölçüsüne karşılık gelir. Ayrıca, bir depremin neden olduğu yüzey yer değiştirmelerinin uzaktan haritalanmasına imkân vermektedir. InSAR verileri kullanılarak başarıyla tespit edilen ve modellenen ilk deprem 28 Haziran 1992'de gerçekleşen ve büyüklüğü 7.3 olan Landers depremi olup (Massonnet vd., 1993) o

zamandan beri jeodezik veriler kullanılarak araştırılan sismik olayların sayısı istikrarlı bir şekilde artmıştır. InSAR ile herhangi bir modellemeye gerek kalmadan interferogramda deprem çatlaklarının yerini görsel olarak belirlemek genellikle mümkündür (Weston vd., 2012).

DInSAR belirli bir zamanda iki görüntü arasındaki faz değişikliklerini gözlemlemek ve çökme/yükselme veya yanıl deformasyonu izlemek için kullanılır. Topografyadan bağımsız olması için, topografik faz bir referans SYM kullanılarak simüle edilir ve daha sonra interferogramdan çıkarılır. DInSAR, geniş mekânsal kapsama alanı ve sağladığı yüksek hassasiyet nedeniyle arazi sıkıntısını izlemek için etkili ve uygun maliyetli bir teknik olarak kabul edilebilir (Sowter vd., 2016). Radar bantları C bandı, L bandı, X bandı ve K bandıdır. Bu sensörler, dalga boylarına göre farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Madencilik bölgelerindeki çökmeyi izlemek için C bandı ve L bandı veri setlerini karşılaştıran bir çalışma yapılmış ve sonuçlar C bandının daha hassas olduğunu kanıtlamıştır (Refice vd., 2003).

Çalışmanın amacı Haziran, 2019 ile Haziran, 2020 tarihleri arasındaki yıllık değişimi gözleyip, SAR verileri kullanılarak Sivrice-Doğanyol-Pütürge bölgesi Deprem kaynaklı yüzey çökme analizini yapmaktır. İnterferometrik analiz, SRTM 1 Second HGT kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan SRTM 1 Second HGT, Sentinel-1 verilerinin VV polarizasyon alt alanları ve 30 m çözünürlüğe sahiptir. DInSAR tekniği ve C-band verileri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada izlenen adımlar şeklinde Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. İş-akış diyagramı**Şekil 4.** D-InSAR'ın temel işlem akışı (Hu vd., 2014)

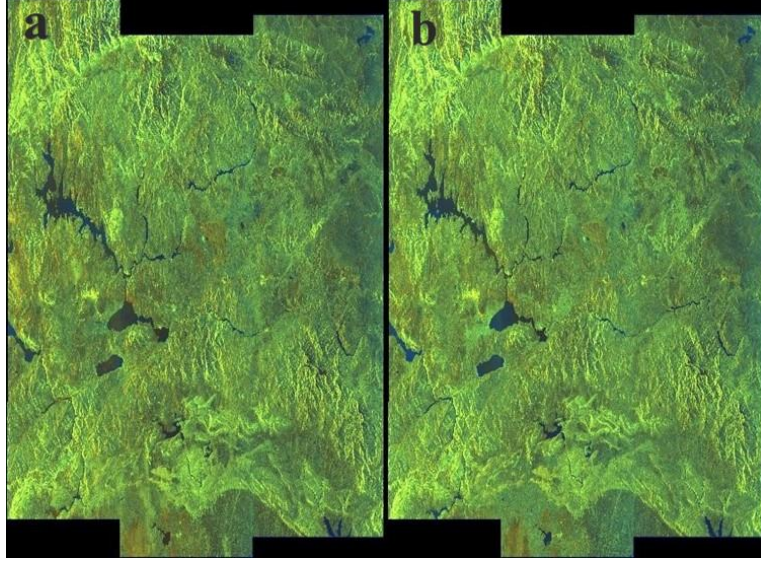
SNAP yazılımında bulunan iki geçişli DInSAR tekniği, 24 Ocak 2020 depremi öncesi ve sonrası için elde edilen Sentinel-1 SAR (tek görünüm karmaşık veya SLC) verileri üzerinde yüzey çökmesinin yeri ve genliğini belirlemek için Şekil 4 'de verildiği gibi uygulanmıştır. Bu çalışmada yüzey çökme haritalaması için uygulanan diferansiyel interferometrik analiz ana adımları şu şekilde sıralanabilir: seçilen alt alanlar için iki Sentinel-1 SAR görüntüsünün birlikte kaydı, interferogram oluşumu, topografik faz kaldırma, faz filtreleme ve yer değiştirmenin hesaplanması.

İki farklı tarihte elde edilen aynı alan üzerindeki aynı geometriye sahip ve sensör modu IW olan iki

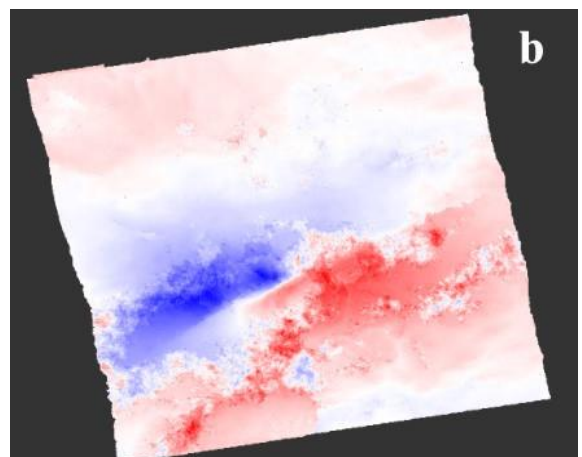
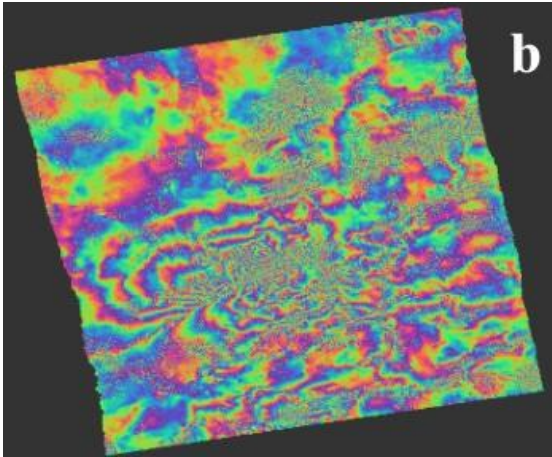
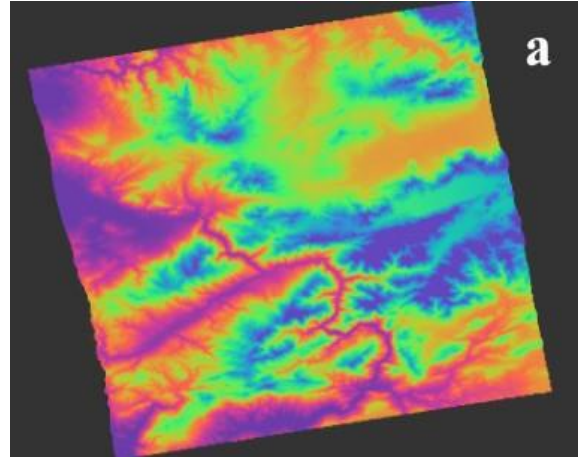
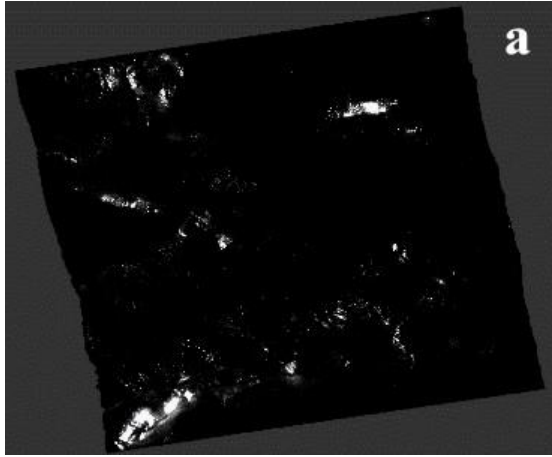
adet SLC görüntüsü Şekil 5 'de görülebileceği gibi Sentinel-1'den indirilir ve Sentinel Uygulama Platform (SNAP) yazılımı kullanılarak düzeltilir. İki patlama arasındaki sınır bölgesini kaldırmak için Sentinel-1 TOPS menüsünden S-1 Deburst operatörü kullanılarak 3. adımdan elde edilen sonucun çapakları giderilir. Bir kümedeki tüm patlamaları tek bir görüntüde Şekil 6.b'deki gibi birleştirilir. Şekil 7.a'da görüldüğü üzere işlenen görüntü interferogramdan çıkarılır. Gürültüyü azaltmak için Faz Filtreleme yapılır. Statical-cost mode: DEFO, Initial Mode: MCF seçilerek yüzey çökmeleri belirlenir. Ardından su ve kara alanlarını ayırmak için Kara/Deniz maskeleyme (Land-Sea Mask) operatörü SRTM 3 sec komutu kullanılarak

çökmeler belirlenir. Faz interferogramından Şekil 7.b'deki gibi yüzey çökme haritası oluşturulur. Oluşan deprem kaynaklı yüzey çökme, GeoTIFF uzantı dosyası biçiminde dışa aktarılır. ArcGIS

programında GeoTIFF dosyası ölçek, kuzey yönü ve işaretler eklenerek deprem kaynaklı yüzey çökme haritası şeklinde elde edilir.



Şekil 5. (a) 14 Haziran 2019 Sentinel-1'den alınan görüntü (b) 8 Haziran 2020 Sentinel-1'den alınan görüntü

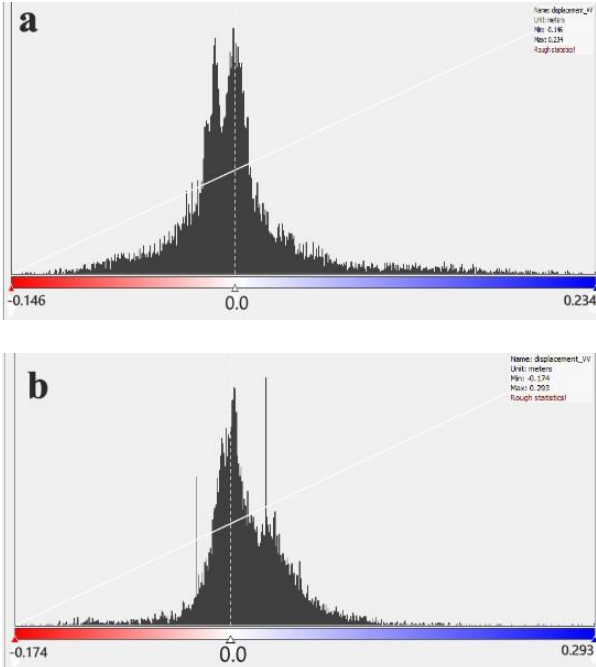


Şekil 6. (a) İnterferogram oluşumu (b) Görüntü birleştirme

Şekil 7. (a) Topografik faz kaldırma (b) Yüzey çökme haritası

3. Bulgular ve tartışma

Elazığ-Sivrice depreminin neden olduğu yüzey çökmesinin değerlendirilmesi Sentinel 1 veri setleri kullanılarak yapılmıştır. 24 Ocak 2020 tarihinde gerçekleşmiş 6.8 büyüklüğündeki depremi kapsayan 4 Ocak 2020 ile 4 Mart 2020 tarihleri arasında +26 cm ile -17 cm çökme değerleri, 14 Haziran 2019 ile 08 Haziran 2020 tarihleri arasının analizi sonucunda +32 cm ile -19 cm çökme değerleri elde edilmiştir. Şekil 8.a'da çökme yoğunluklarının +8 cm ile -5 cm arasında, Şekil 8.b'de ise +9 cm ile -5 cm arasında olduğu görülmektedir. Sonuç olarak çökme değerlerinin çalışma alanının çoğunluğunda + 9 cm ile -5 cm arasında olduğu ancak lokal olarak 19 cm çökme ile 32 cm yükselme noktalarının da mevcut olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 8. (a) 4 Ocak 2020 ile 4 Mart 2020 tarihleri arasındaki ve (b) 14 Haziran 2019 ile 08 Haziran 2020 tarihleri arasındaki deprem kaynaklı yüzey çökme yoğunluğu

Bell vd., (2012) atmosferik koşullar ve uydu yörünge belirsizlikleri nedeniyle, 6'dan büyük depremlerin InSAR teknikleri kullanılarak yüzey çökme haritalaması gerektiğini ileri sürmüştür. Thomas (2020) yapmış olduğu çalışmada 5.2

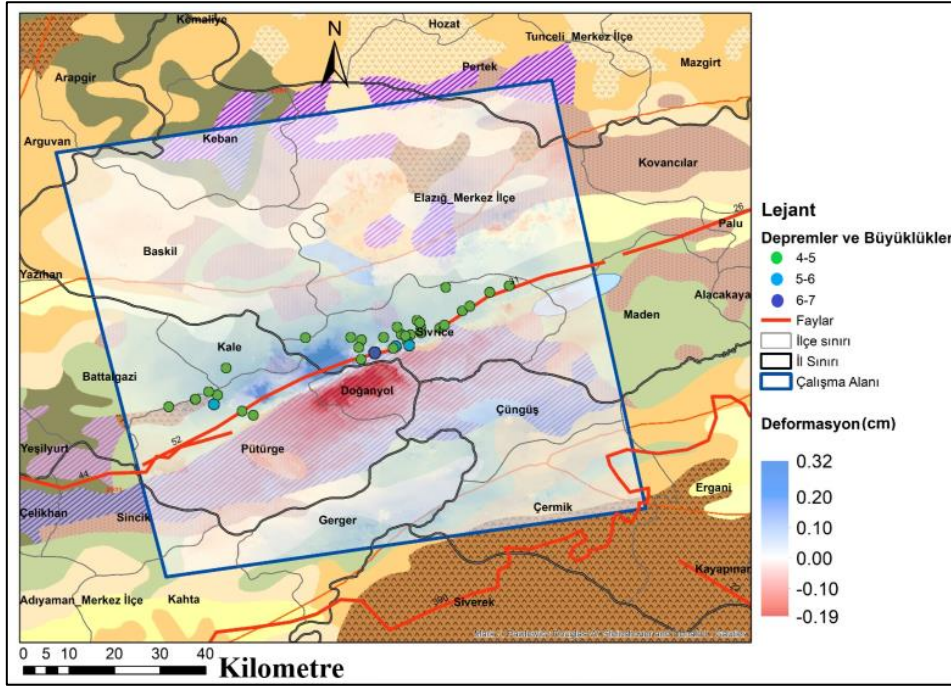
büyüklüğündeki depremde -1.8 cm ile +4.5 cm çökme belirlemiş ve InSAR tekniğinin güvenilirliğini vurgulamıştır. Suresh ve Yarrakula (2020) 7.3 büyüklüğünde depremin yüzey çökme analizine göre, maksimum +85.1 cm ile -18.3 cm çökmenin meydana geldiğini ve alanın yaklaşık 1500 km²'sinin ciddi şekilde etkilendiğini bulmuştur.

Analizlerde elde edilen toplam çökme değerinin genel olarak Mw=6.8 depremi sonucunda oluştuğunun tespiti, literatür ile uyumlu olarak DInSAR tekniğinin Mw>6 olan depremlerin yüzey çökme haritalaması için iyi bir yöntem olduğunu göstermektedir. Diğer yandan uydu görüntüleri ile saha verileri ilişkilendirildiğinde Şekil 9'da gösterilen Çevrimtaş köyü çevresindeki yüzey çökmeleri, analiz sonucunu destekler niteliktedir. Tatar vd., (2020) tarafından yapılan saha çalışmalarının SAR verileriyle uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Çevrimtaş köyü çevresindeki yüzey çatlaklarını gösteren alan görüntüleri (Tatar vd., 2020)

Depremin oluştuğu fayın mekanizması AFAD raporuna göre sol yönlü doğrultu atımlı olduğu doğrulanmıştır (AFAD, 2020). Merkez üssünün konumu ve fay mekanizması DAF zonu'nun Pütürge segmenti boyunca yüzey çökmesi oluşumuna işaret etmektedir (Tatar vd., 2020). Fay hatlarının iki yakası boyunca pozitif ve negatif yer değiştirmeler görülmektedir. Yüzey çökmeleri incelendiğinde ise deprem merkez üsslerine yakınlığın yanı sıra jeolojik birimlerin de rol oynadığı görülmektedir.



Şekil 10. Deprem kaynaklı yüzey çökme haritası

Çalışma alanındaki jeolojik birimlerin yüzey çökmesine etkisinin ortaya koyulması amacıyla SNAP yazılımından elde edilen veriler ArcGIS programındaki jeolojik haritalar ile karşılaştırılmıştır. Şekil 10'daki haritadan maksimum çökme ve yükselme yapan jeolojik birimlerin Paleojenik ile Paleozoik ve prekambriyen metamorfik kayaların olarak belirlenmiştir. Paleozoik ve prekambriyen metamorfik kayaç birimleri daha fazla çökerken Paleojenik birimlerde yükselme görülmüştür. Bu sonuçlar yüzey çökmesinin jeolojik katmanlar ile bağlantılı olduğunu göstermektedir.

Bölgesel deformasyon modellerini tektonik hareketler, zeminin doğal sıkışması, yeraltı suyunun aşırı kullanımı vb. süreçler etkileyebilmektedir. Periyod aralığının kısa tutulması çalışma alanında gerçekleşen depremin deformasyondaki rolünü göstermiştir. Ayrıca çalışma alanının ani bir kentleşme veya aşırı yeraltı suyu tüketiminin gözlenmediği bir yer olması da bunu destekler niteliktedir. Bölgeye belirli sayıda kalıcı GPS istasyonunu kurulması, çökme hızı ve modelleri için bir doğrulama sağlayacak ve deformasyon mekanizmalarını açıklamaya yardımcı olacaktır. Fayların konumu, yatay hidrolik iletkenlikteki ani süreksizlik nedeniyle arazi çökmesinin dağılımı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Çalışma alanında, fay hareketinin yeraltı su kaynaklarına ve akifer sistemine etkisinin incelenmesi de gelecek araştırmalara değer katacaktır. Deprem sonrasında bölgedeki birçok araştırmacı tarafından saha gözlemleri yapılmıştır. Gökçeoğlu vd., (2020), Sivrice'de Hazar Gölü

kıyısındaki alüvyon çökellerinde DAF zonu boyunca yüzey deformasyonlarının gözlemlendiğini belirtmiştir. Bu araştırmacılara göre, düşük kaliteli yapısal malzeme, inşaat ve işçiliğin yanı sıra, Çevrimtaş ve çevre köylerdeki yağma binalara ve altyapıya verilen ciddi hasarın bir diğer önemli nedeni, bölgede gözlenen yüzey kırılmasıdır. Arazi çökmesi fay hattının her iki tarafında, kentsel altyapıları (yollar, demiryolları vb.) etkileyerek hasara neden olabilmektedir. Doğru atımlı fay mekanizmaları ile ortaya çıkan depremlerde faya yakın mesafelerde bulunan çok katlı yapıların, fayın kırılma yönünde konumlanmış olması durumunda fay kırığına dik doğrultuda sıra dışı bazı yıkıcı etkilere maruz kalabilecekleri bilinmektedir (Gillie vd., 2010). İleri direktivite etkisi denilen bu yıkıcı etki, ortaya çıkan deprem enerjisinin, ilgili kriterleri sağlayan, yapıları tek bir büyük yüklemeye çevrimi ile iletilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu zararlı yıkıcı etkilerin ortaya çıkabilmesi için fay kırığının büyük oranda yapıların bulunduğu bölgeye doğru ilerlemesi gerekmektedir. Pütürge Segmenti'nde meydana gelen kırılmanın büyük ölçüde Güneybatı yönünde, Elazığ'ın tersi istikamette olduğu görülmektedir. Bu sebeple Elazığ Merkez bölgesi olası yıkıcı ileri direktivite etkilerine maruz kalmamış gibi görünmektedir (Şahin vd., 2020).

4. Sonuç

Sentetik açıklıklı radar (SAR) tabanlı uyduların geliştirilmesi, dünya çapında büyük jeolojik tehlikelere karşı önlemler türetilmesini sağlamıştır.

İnterferometrik Geniş Alan (IW) modunun kullanılabilirliği ile Sentinel 1, interferometrik sentetik açıklıklı radar (InSAR) tekniklerini kullanarak yüzey çökmesini izleme yeteneğine sahiptir. Bu çalışma, Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinde Sivrice(Elazığ)-Doğanyol(Malatya)-Pütürge(Malatya) ilçelerini kapsayan alanda 24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen 6,8 büyüklüğündeki depremle ilişkili yüzey çökmesinin haritalanmasında radar interferometri (DInSAR tekniği) kullanılarak SAR verilerinin yararlılığını göstermiştir. Bu depremi içeren 1 yıllık veriler, IW formatında 14 Haziran 2019 ve 08 Haziran 2020 tarihlerinde alınan S1B_IW_SLC__1SDV_20190614T151710_20190614T151737_016694_01F6B0_C963 ve S1B_IW_SLC__1SDV_20200608T151716_20200608T151743_021944_029A_54_8184 Sentinel-1 SAR verilerinin iki görüntüsüdür. SAR verileri, sismik olaydan sonra arazinin dikey olarak yer değiştirmesini değerlendirmek için kullanılmıştır. Analiz sonucunda sismik yönden en çok etkilenen alanların belirlenmiştir. Yüzey çökmesi daha çok Doğanyol(Malatya) kuzeyi ve Sivrice(Elazığ) batısı ile Doğanyol(Malatya) ve Pütürge(Malatya) bölgelerinin bazı bölgelerinde olmuştur. Hesaplanan dikey yer değiştirmenin -19 cm'den (Doğanyol ve Pütürge kuzeydoğusunda) 32 cm'ye kadar (Doğanyol ve Pütürge kuzeyi ile Sivrice güneybatısında) olduğu belirlenmiştir.

Türkiye'nin deprem kuşağında yer alması ve sismik hareketlerin gün geçtikçe artması yıkıcı depremlerle karşılaşmasına neden olmaktadır. Tüm depremlerden sonra SAR verileri ile deprem kaynaklı zemin çökme analizinin yapılması önerilmektedir. Böylece çalışılan bölgede gelecekte benzer deprem meydana gelirse, olası çökme alanlarının önceden tahmin edilebilecektir. Analiz sonuçları deprem kaynaklı yüzey çökmesinden etkilenen ve etkilenebilecek yapıların tespiti için de önemli bir potansiyele sahiptir. SAR verilerinden elde edilen deprem hasarı bilgileri, hızlı deprem hasarı değerlendirmesi içinde kullanılabilir.

Kaynaklar

Abdikan, S., Imamoglu, M., Alasag, T., Toker, M., Kutoglu, S. H. and Sahin, S. (2019). Insar analysis of ayvacik 2017 (mw 5.3) earthquake swarm (canakkale, nw-Turkey). International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42(2/W13).

AFAD (T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı), (2020). <https://deprem.afad.gov.tr>.

AFAD (T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı). (2020, Şubat). 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depremi raporu. Erişim adresi, <https://deprem.afad.gov.tr/download/Document?id=1831>

Ali, M., Shahzad, M. I., Nazeer, M., Mahmood, I. and Zia, I. (2019). Estimation of surface deformation due to Pasni earthquake using RADAR interferometry. Geocarto International, 1-16. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1661031>

Amos, J. (2016, April 21). Sentinel maps North Korean nuclear blast aftermath. BBC. <http://www.bbc.com/news/science-environment-36103812>.

Bayik, C. (2021). Deformation analysis of 2020 mw 5.7 Karlıova, Turkey, earthquake using DInSAR method with different incidence angle SAR data. Arabian Journal of Geosciences, 14(4), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06670-x>

Bell, J.W., Amelung, F. and Henry CD. (2012). InSAR analysis of the 2008 Reno-Mogul earthquake swarm: evidence for westward migration of Walker Lane style dextral faulting. Geophysical Research Letters, 39:1-5. <https://doi.org/10.1029/2012GL052795>

Gabriel, A. K., Goldstein, R. M. and Zebker, H. A. (1989). Mapping small elevation changes over large areas: Differential radar interferometry. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 94(B7), 9183-9191. <https://doi.org/10.1029/JB094iB07p09183>

Gillie, J. L., Rodriguez-Marek, A. and McDaniel, C. (2010). Strength reduction factors for near-fault forward-directivity ground motions. Engineering Structures, 32(1), 273-285. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.09.014>

Gökçeoğlu, C., Şahmaran, M., Unutmaz, B., Aldemir, A., Koçkar, M.K., Sandikkaya A. ve İçen A. (2020). 24 Ocak 2020 Elazığ Sivrice depremi (mw = 6.8) ön inceleme raporu. Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.

Hempton, M.R. (1985). Structure and deformation history of the Bitlis sture near Lake Hazar, southeastern Turkey. Geological Society of America Bulletin, 96, 233-243. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1985\)96%3C233:SADHOT%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1985)96%3C233:SADHOT%3E2.0.CO;2)

Herece, E. ve Akay, E. (1992). Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı. Proceeding of the

- 9th Petroleum Congress of Turkey. 17–21 February 1992, 361–372, Ankara, Turkey.
- Hu, J., Li, Z. W., Ding, X. L., Zhu, J. J., Zhang, L. and Sun, Q. (2014). Resolving three-dimensional surface displacements from InSAR measurements: A review. *Earth-Science Reviews*, 133, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.02.005>
- Kadirioğlu, F. T., Kartal, R. F., Kılıç, T., Kalafat, D., Duman, T. Y., Azak, T. E., Özalp, S. ve Emre, Ö. (2018). An improved earthquake catalogue ($M \geq 4.0$) for Turkey and its near vicinity (1900–2012). *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3317-3338. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0064-8>
- Karshoğlu, A., Alkayış, M. H., Kalkan, K. ve Onur, M. İ. (2020). Sentinel-1 uydusu ile Konya Karapınar ilçesi bölgesel çökme analizi. *Disaster Science and Engineering*, 6(2), 8-15.
- Lakhote, A., Thakkar, M. G., Kandregula, R. S., Jani, C., Kothari, G. C., Chauhan, G. and Bhandari, S. (2020). Estimation of active surface deformation in the eastern Kachchh region, western India: Application of multi-sensor DInSAR technique. *Quaternary International*. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.07.010>
- Li, B., Li, Y., Jiang, W., Su, Z. and Shen, W. (2020). Conjugate ruptures and seismotectonic implications of the 2019 Mindanao earthquake sequence inferred from Sentinel-1 InSAR data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 90, 102127. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102127>
- Massonnet D., Rossi M., Carmona C., Adragna F., Peltzer G., Feigl K. and Rabaute T. (1993). The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *Nature*. 364(6433), 138–142. <https://doi.org/10.1038/364138a0>
- MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü). (2020, Şubat 7). 24 Ocak 2020 sivrice (elazığ) depremi (mw=6,8) saha gözlemleri ve değerlendirme raporu. Erişim adresi, https://www.mta.gov.tr/images/duyuru_ek/belgeler/609_07-02-2020_2b82a14b.pdf
- Onur, M. İ., (2007). Dinamik etkiler altında zemin deformasyonunun incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir.
- Refice A., Bovenga F. and Nutricato R. (2004). Stepwise approach to InSAR processing of multitemporal datasets. In: Proc.of FRINGE 2003 Work ESA SP-550. http://earth.esa.int/workshops/fringe03/proceedings/posters/83_refic.pdf.
- Solaro, G., De Novellis, V., Castaldo, R., De Luca, C., Lanari, R., Manunta, M. and Casu, F. (2016). Coseismic fault model of Mw 8.3 2015 Illapel earthquake (Chile) retrieved from multi-orbit Sentinel-1-A DInSAR measurements. *Remote Sensing*, 8(4), 323. <https://doi.org/10.3390/rs8040323>
- Sowter, A., Amat, M. B. C., Cigna, F., Marsh, S., Athab, A. and Alshammari, L. (2016). Mexico City land subsidence in 2014–2015 with Sentinel-1 IW TOPS: Results using the Intermittent SBAS (ISBAS) technique. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 52, 230-242. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.015>
- Suresh, D. and Yarrakula, K. (2020). InSAR based deformation mapping of earthquake using Sentinel 1A imagery. *Geocarto International*, 35(5), 559-568. <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1544289>
- Şahin H., Alyamaç K.E., Durucan A.R., Demirel B., Ulaş Açıkgenç M., Bildik A.T., Durucan C., Demir T., Ulucan M., ve Demirbaş N. (2020). 24 Ocak 2020 Mw 6.8 Sivrice/Elazığ depremi Elazığ bölgesi yapısal hasarlar inceleme ve analiz raporu, Yapı ve Beton Uygulama ve Araştırma Merkezi, Fırat Üniversitesi, Rapor No:2020/D001, Elazığ, Türkiye.
- Tatar, O., Sözbilir, H., Koçbulut, F., Bozkurt, E., Aksoy, E., Eski, S., Özmen, B., Alan, H. and 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*, 1-26. <https://doi.org/10.1007/s42990-020-00037-2>
- Thomas, A. (2020). Mapping of surface deformation associated with the 5.2 magnitude Stilfontein earthquake of 3 April 2017 using radar interferometry. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.01.005>
- Thomas, A. (2020). Mapping of surface deformation and displacement associated with the 6.5 magnitude botswana earthquake of 3 april 2017 using dInSAR analysis. *Geomatics and Environmental Engineering*, (14/4), 81-100. <https://doi.org/10.7494/geom.2020.14.4.81>
- URL-1, (2020). Erişim adresi, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/instrument-payload>.
- Wang, H., Liu-Zeng, J., Ng, A. M., Ge, L., Javed, F., Long, F. and Shao, Z. (2017). Sentinel-1 observations of the 2016 Menyuan earthquake: A buried reverse event linked to the left-lateral

- Haiyuan fault. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 61, 14-21. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.04.011>
- Weston, J., Ferreira, A. M. and Funning, G. J. (2012). Systematic comparisons of earthquake source models determined using InSAR and seismic data. *Tectonophysics*, 532, 61-81. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.02.001>
- Xu, Guangyu, Xu, C. And Yangmao, W. (2018). Sentinel-1 observation of the 2017 Sangsefid earthquake, northeastern Iran: rupture of a blind reverse-slip fault near the Eastern Kopeh Dagh. *Tectonophysics* 731–732, 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.03.009>.
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.04.008>
- Yazgan, E. (1984). Geodynamic evolution of the Eastern Taurus region. In *Geology of the Taurus belt*. International symposium (pp. 199-208).
- Zebker, H. A. and Goldstein, R. M. (1986). Topographic mapping from interferometric synthetic aperture radar observations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 91(B5), 4993-4999. <https://doi.org/10.1029/JB091iB05p04993>

Düzgün yıldız çokgenlerde çizgiler ve koordinatlar

Lines and coordinates in regular star polygons

Mehmet ARSLAN*^{1,a}

¹Milli Eğitim Bakanlığı, Malatya Bilim ve Sanat Merkezi, 44100, Malatya

• Geliş tarihi / Received: 01.01.2021 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 09.03.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 13.03.2021

Öz

Bu çalışmada, geometrinin önemli konu başlıklarından biri olan ve on dördüncü yüzyıldan günümüze birçok eserde yer bulmuş düzgün yıldız çokgenler konusu ele alınmıştır. Konu ile ilgili bilinen tanım ve özelliklere, süreç sonunda önemli sayıda yeni tanım ve özellik eklenmiştir. Düzgün yıldız çokgenlerin temel mantığından hareketle, düzgün çokgenler kullanılarak bilinen çizim tekniğinden farklı yeni bir çizim tekniği geliştirilmiştir. Düzgün yıldız çokgenlerin köşe noktalarını birleştiren eş doğru parçaları oluşum çizgileri olarak adlandırılmış ve çalışma bu kapsam etrafında ele alınmıştır. Oluşum çizgileri yatay eksenle meydana getirdikleri açılara göre dar ve geniş olarak sınıflandırılmış ve önemli sonuçlar elde edilmiştir. Düzgün yıldız çokgenler üzerinde dar ve geniş oluşum çizgilerinin yerleşim düzeninin açılal dizilimi ile dar ve geniş oluşum çizgi sayısı mod 4'e göre genelleştirilmiştir. Herhangi bir düzgün yıldız çokgen üzerinde oluşum çizgilerinin kesişmesiyle oluşan noktaların birleştiren çemberlere çember katmanları ve oluşum çizgilerinin kesişim noktalarına yıldız koordinatlar adı verilip özellikleri incelenmiştir. Herhangi bir düzgün yıldız çokgende yıldız koordinatların konumlarını şekil çizmeden dört adımda belirleyebileceğimiz bir yöntem geliştirilmiş ve uygulamalarla desteklenmiştir. Tüm yıldız çokgenler için yıldız koordinatların konumlarının çizime ihtiyaç duyulmaksızın belirlenebilmesi yeni çalışmalara zemin hazırlayacaktır. Kavramsal olarak tüm düzgün çokgenlerin aynı zamanda düzgün yıldız çokgenler olması konuya ayrı bir önem yüklemektedir.

Anahtar kelimeler: Dar açılı çizgi, Düzgün yıldız çokgenler, Geniş açılı çizgi, Oluşum çizgileri, Yıldız koordinatlar

Abstract

In this study, the subject of regular star polygons, which is one of the important topics of geometry and which has taken place in many works since the fourteenth century, is discussed. A significant number of new definitions and features were added at the end of the process to the known definitions and features related to the subject. Based on the basic logic of regular star polygons, a new drawing technique has been developed, which is different from the known drawing technique using regular polygons. Equivalent parts of regular star polygons connecting the corner points are called formation lines and the study is dealt with around this scope. The lines of formation are classified as acute and obtuse according to the angles they form with the horizontal axis and important results are obtained. The angular arrangement of the layout of acute and obtuse formation lines on regular star polygons and the number of acute and obtuse formation lines are generalized according to mode 4. The circles connecting the points formed by the intersection of the formation lines on any regular star polygon are called the circle layers and the intersection points of the formation lines are called star coordinates and their properties are examined. A method in which we can determine the position of the star coordinates in any regular star polygon in four steps without drawing shapes has been developed and supported by applications. The determination of the position of the star coordinates for all star polygons without the need for drawing will prepare the ground for new studies. Conceptually, the fact that all regular polygons are also regular star polygons puts a special emphasis on the subject.

Keywords: Acute angle line, Regular star polygons, Obtuse angle line, Formation lines, Star coordinates

*^a Mehmet ARSLAN; marslan@gtu.edu.tr, Tel: (0505) 384 49 41, orcid.org/0000-0003-0519-373X

1. Giriş

Düzgün yıldız çokgenler geometrinin önemli bir araştırma konusudur. İlk olarak on dördüncü yüzyılda Thomas Bradwardine “Geometria Speculativa” isimli çalışmasında yıldız çokgenlerden bahsetmiştir (Bradwardine, 1989). Daha sonra 1619 yılında Johannes Kepler “Harmonices Mundi” isimli çalışmasında bu konuda sistematik olarak ilerlemeler elde etmiştir (Kepler, 1997). Kepler düzgün çokgenin bir uyarlaması olarak yıldız çokgenleri tanımlamıştır (Coxeter, 1969). Harold S. M. Coxeter ve Robert S. Wilson tarafından düzgün yıldız çokgenlerin tanım ve özellikleri üzerine çalışmalar yapılmıştır (Coxeter, 1974; Wilson, 2001).

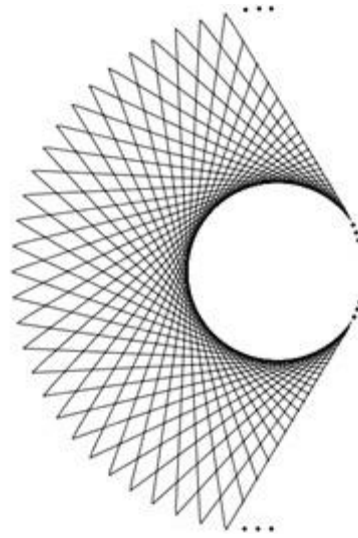
Ayrıca düzgün yıldız çokgenlerin geometrik süsleme sanatında geniş bir uygulama alanına sahip olduğu bilinmektedir (Grunbaum ve Shephard, 1977; Mülâyim, 1982; Khamjane ve Benslimane, 2018; Arslan ve Tuncel, 2019).

Tüm düzgün çokgenlerin aynı zamanda düzgün yıldız çokgen olması gerçeği konuyu çalışmaya değer kılmaktadır. Bu çalışmada, düzgün yıldız çokgenlerin tanımı, özellikleri ve oluşum çizgileri incelenecektir. İlk olarak bilinen tanım ve özellikler çerçevesinde önemli yeni tanımlar ve özellikler oluşturulmuştur. Düzgün yıldız çokgen temel tanımından yola çıkılarak bilinen çizim tekniklerinden farklı bir çizim tekniği geliştirilmiştir. Düzgün yıldız çokgenler oluşum çizgileri kapsamında ele alınmış, oluşum çizgilerinin yatay eksenle meydana getirdikleri açılara göre sınıflandırılmıştır. Düzgün yıldız çokgenleri oluşturan oluşum çizgileri yatay eksenle oluşturdukları açılara göre “dar açılı çizgi” ve “geniş açılı çizgi” şeklinde adlandırılıp önemli sonuçlar elde edilmiştir. Düzgün yıldız çokgen üzerinde dar ve geniş oluşum çizgilerinin yerleşim düzeni ile dar ve geniş oluşum çizgi sayısı mod 4’e göre genelleştirilmiştir. Herhangi bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeni üzerinde oluşum çizgilerinin kesişmesiyle oluşan noktalardan geçen çemberlere “çember katmanları” ve oluşum çizgilerinin kesişim noktalarına “yıldız koordinatlar” adı verilip özellikleri incelenmiştir. Herhangi bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeninde oluşum çizgilerinin açılarına göre yerleşim düzenini ve yıldız koordinatlarının konumlarını şekil çizmeden belirleyebileceğimiz algoritmalar geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve metot

Bu çalışmada, düzgün yıldız çokgenler ile ilgili bilinen tanım ve özellikler incelenerek yeni sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışma sürecinde çizimler Cabri II Plus geometri programı kullanılarak elde edilmiştir.

Tanım 2.1 $k \geq 1$, $n \geq 3$ ve $k, n \in N$ olmak üzere bir daire üzerinde eşit aralıklı n nokta alıp herhangi bir noktadan itibaren her k . noktasını eş doğru parçaları ile bağlayarak oluşturulan şekle düzgün yıldız çokgen denir (Coxeter, 1974; Wilson, 2001). Bu çalışmada, her k . noktasının bağlı olduğu n köşeli düzgün yıldız çokgen $\{n/k\}$ Schläfli sembolü ile ifade edilecektir.



Şekil 1. $\{n/k\}$ Düzgün yıldız çokgeni

3. Bulgular ve tartışma

$\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgenler, elle ya da çalışmamızda kullandığımız Cabri II Plus geometri programı ve benzer programlarda Tanım 2.1’de ifade edildiği şekilde bir daire üzerinde eşit aralıklı n nokta alınıp herhangi bir noktadan itibaren her k . noktasını eş doğru parçaları ile bağlayarak oluşturulmaktadır. Burada düzgün yıldız çokgenler için farklı bir çizim tekniği verilecektir.

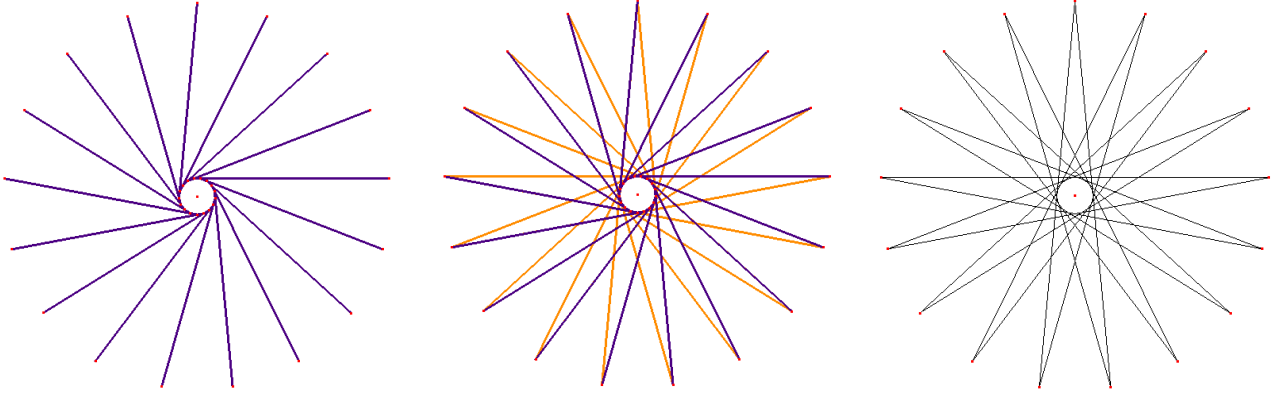
Öncelikle eş n tane doğru parçası $\left(\frac{360}{n}\right)^\circ$ açıyla

herhangi bir düzgün n -genin her bir kenarının üzerine, bir ucu bu kenarın orta noktasına gelecek şekilde yerleştirilir. Bu eş doğru parçaları kendi uzunlukları kadar ters yönde uzatılarak $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeni ve seçilen n için $\max\{k\}$ ya kadar tüm düzgün yıldız çokgenler elde edilir.

Bu çizim tekniğinde daire üzerinde eşit aralıklı noktalar oluşturulması gerekmemektedir. Özellikle

elle düzgün yıldız çokgenler çizilirken yeni çizim tekniği kolaylık sağlayacak ve geometri programlarına da eklenebilecektir. Ayrıca çizim yapılırken düzgün n -genin her bir kenarına eş doğrular yerleştirildiğinde $\left(\frac{360}{n}\right)^\circ$ lik açılar kendiliğinden oluşacaktır.

Şekil 2’de bir 17-gen için 17 tane eş doğru parçası $\left(\frac{360}{17}\right)^\circ$ açıyla 17-genin her bir kenarına yerleştirilmiştir. Daha sonra kenarların orta noktasına yerleştirilen eş doğru parçaları kendi uzunlukları kadar ters yönde uzatılmıştır. Bu şekilde $\{17/8\}$ düzgün yıldız çokgeni elde edilmiştir. $\{17/8\}$ düzgün yıldız çokgeni içerisinde iç içe 7 tane düzgün yıldız çokgen bulunmaktadır.

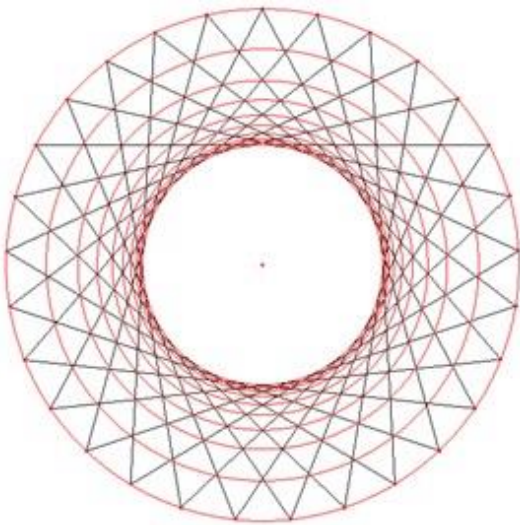


Şekil 2. Eş doğru parçaları ile $\{17/8\}$ düzgün yıldız çokgen oluşumu

3.1 Çember katmanları, oluşum çizgileri ve yıldız koordinatlar

3.1.1 Çember katmanları

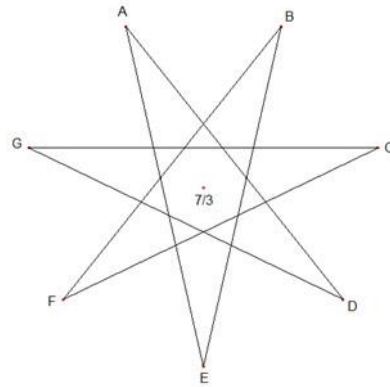
Tanım 3.1 Herhangi bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeni üzerinde köşe noktalarından geçen bir çember ile birlikte merkeze doğru oluşum çizgilerinin kesişmesiyle oluşan noktalardan geçen toplam k tane çember çizebiliriz. Çizilen bu çemberlere düzgün yıldız çokgenin çember katmanları adı verilir.



Şekil 3. $\{29/10\}$ düzgün yıldız çokgeninde çember katmanları

3.1.2 Oluşum çizgisi tanımı ve analizi

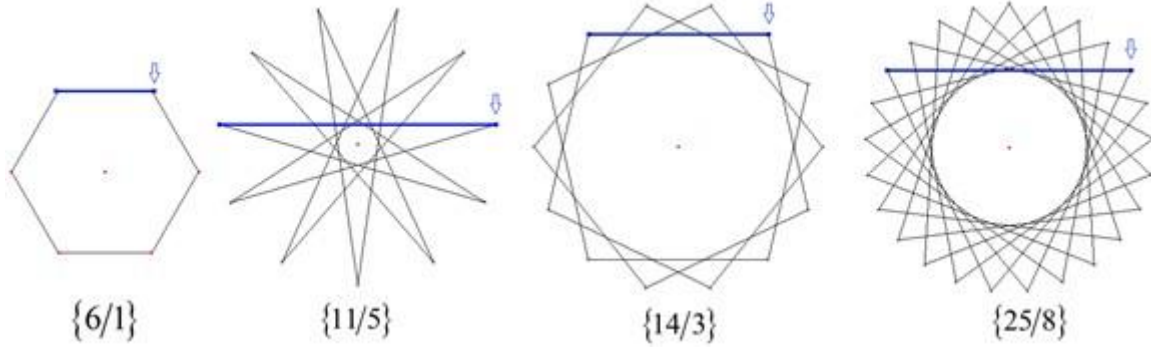
Tanım 3.2 $k \geq 1$, $n \geq 3$ ve $k, n \in \mathbb{N}$ olmak üzere bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeninde köşe noktalarını birleştiren eş doğru parçalarına oluşum çizgisi denir. Bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgende n tane oluşum çizgisi bulunur.



Şekil 4. $\{7/3\}$ düzgün yıldız çokgeninde oluşum çizgileri

Şekil 4’te verilen $\{7/3\}$ düzgün yıldız çokgeninde $|AE| = |AD| = |BF| = |BE| = |CG| = |CF| = |DG|$ şeklinde yedi tane oluşum çizgisi vardır.

Bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeninde n toplam köşe sayısı ve k ise Şekil 5’te mavi renkte vurgulanmış oluşum çizgisinin bağlandığı noktanın işaretli noktadan sonraki sıra sayısıdır. k tüm oluşum çizgilerinden aynı yöntemle belirlenebilir.

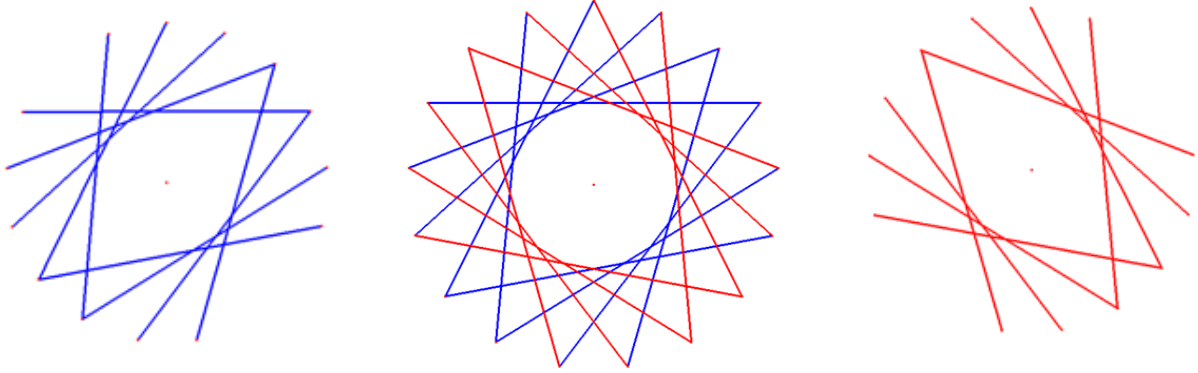


Şekil 5. Düzgün yıldız çokgenlerde n ve k tespiti

3.1.3 Oluşum çizgilerinin sınıflandırılması

Tanım 3.3 Düzgün yıldız çokgenleri oluşturan oluşum çizgilerine yatay eksenle oluşturdukları açılar $[0,90)$ aralığında ise “dar açılı çizgi”,

$[90,180)$ aralığında ise “geniş açılı çizgi” denir. Şekil 6’da da açılı çizgiler mavi renk (en solda) ile ve geniş açılı çizgiler (en sağda) kırmızı renk ile gösterilmiştir.

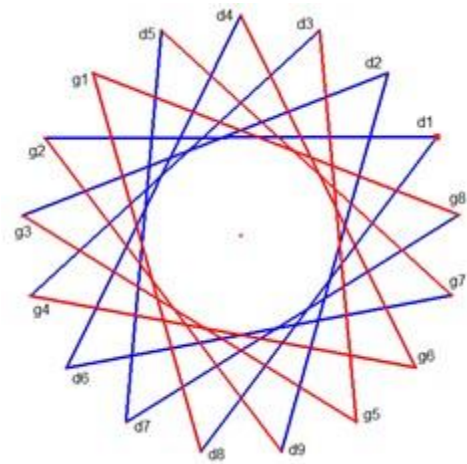


Şekil 6. $\{17/6\}$ düzgün yıldız çokgeninde dar açılı ve geniş açılı çizgiler

3.1.4 Oluşum çizgilerinin sayısı ve yerleşim düzeni

$k \geq 1$, $n \geq 3$ ve $k, n \in \mathbb{N}$ olmak üzere herhangi bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeninde üst bölgede yatay olarak belirlenen oluşum çizgisine birinci dar açılı çizgi (d_1) denir. Saat yönünün tersinde düzgün yıldız çokgen oluşum mantığına uygun olarak sırasıyla köşe noktalarını sonraki k . noktaya bağlayan eş doğru parçaları, yatay eksenle oluşturdukları açılar dar ya da geniş oluşlarına göre d_1, d_2, d_3, \dots ve g_1, g_2, g_3, \dots şeklinde isimlendirilir.

Bu isimlendirme genelleştirilerek Tablo 1’de gösterilmiş ve ayrıca düzgün yıldız çokgen oluşum çizgilerinin yatay eksenle oluşturdukları açılar dar ya da geniş oluşlarına göre sınıflandırılması da verilmiştir. Tablo 1’de n büyüdükçe dört kanaldan ayrı kurallarla oluşum çizgilerinin dizilmekte olduğu görülmüştür. Bu kurallarla şekil oluşturmadan herhangi bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeninde oluşum çizgilerinin dizilimi elde edilir.



Şekil 7. $\{17/6\}$ düzgün yıldız çokgeninde oluşum çizgilerinin isimlendirilmesi

Tablo 1. $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeninde dar ve geniş oluşum çizgilerinin açılal dizilimi

$\{n/k\}$	Oluşum çizgileri																			
$\{3/k\}$	d_1	g_1	d_2																	
$\{4/k\}$	d_1	g_1	d_2	g_2																
$\{5/k\}$	d_1	d_2	g_1	d_3	g_2															
$\{6/k\}$	d_1	d_2	g_1	d_3	d_4	g_2														
$\{7/k\}$	d_1	d_2	g_1	g_2	d_3	d_4	g_3													
$\{8/k\}$	d_1	d_2	g_1	g_2	d_3	d_4	g_3	g_4												
$\{9/k\}$	d_1	d_2	d_3	g_1	g_2	d_4	d_5	g_3	g_4											
$\{10/k\}$	d_1	d_2	d_3	g_1	g_2	d_4	d_5	d_6	g_3	g_4										
$\{11/k\}$	d_1	d_2	d_3	g_1	g_2	g_3	d_4	d_5	d_6	g_4	g_5									
$\{12/k\}$	d_1	d_2	d_3	g_1	g_2	g_3	d_4	d_5	d_6	g_4	g_5	g_6								
$\{13/k\}$	d_1	d_2	d_3	d_4	g_1	g_2	g_3	d_5	d_6	d_7	g_4	g_5	g_6							
$\{14/k\}$	d_1	d_2	d_3	d_4	g_1	g_2	g_3	d_5	d_6	d_7	d_8	g_4	g_5	g_6						
$\{15/k\}$	d_1	d_2	d_3	d_4	g_1	g_2	g_3	g_4	d_5	d_6	d_7	d_8	g_5	g_6	g_7					
$\{16/k\}$	d_1	d_2	d_3	d_4	g_1	g_2	g_3	g_4	d_5	d_6	d_7	d_8	g_5	g_6	g_7	g_8				
$\{17/k\}$	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	g_1	g_2	g_3	g_4	d_6	d_7	d_8	d_9	g_5	g_6	g_7	g_8			
$\{18/k\}$	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	g_1	g_2	g_3	g_4	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}	g_5	g_6	g_7	g_8		
$\{19/k\}$	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}	g_6	g_7	g_8	g_9	
$\{20/k\}$	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}	g_6	g_7	g_8	g_9	g_{10}
...
$\{(4m)/k\}$	d_1	d_2	...	d_m	g_1	g_2	...	g_m	d_{m+1}	d_{m+2}	...	d_{2m}	g_{m+1}	g_{m+2}	...	g_{2m}				
$\{(4m+1)/k\}$	d_1	d_2	...	d_{m+1}	g_1	g_2	...	g_m	d_{m+2}	d_{m+3}	...	d_{2m+1}	g_{m+1}	g_{m+2}	...	g_{2m}				
$\{(4m+2)/k\}$	d_1	d_2	...	d_{m+1}	g_1	g_2	...	g_m	d_{m+2}	d_{m+3}	...	d_{2m+2}	g_{m+1}	g_{m+2}	...	g_{2m}				
$\{(4m+3)/k\}$	d_1	d_2	...	d_{m+1}	g_1	g_2	...	g_{m+1}	d_{m+2}	d_{m+3}	...	d_{2m+2}	g_{m+2}	g_{m+3}	...	g_{2m+1}				

$$n = (4m) \geq 4, \quad n = (4m+1) \geq 5, \quad n = (4m+2) \geq 6, \quad n = (4m+3) \geq 3, \quad k \geq 1, \quad n \geq 3 \text{ ve } k, m, n \in \mathbb{N}$$

Tablo 1’den $k \geq 1, n \geq 3$ ve $k, m, n \in N$ olmak üzere herhangi bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgenini oluşturan oluşum çizgilerinin sayısını, yatay eksenle oluşturdukları açılıların dar ya da geniş oluşlarına göre aşağıdaki gibi elde ederiz;

- $n = 4m$ ise $2m$ tane geniş açılı, $2m$ tane dar açılı çizgi mevcuttur,
- $n = 4m + 1$ ise $2m$ tane geniş açılı, $2m + 1$ tane dar açılı çizgi mevcuttur,
- $n = 4m + 2$ ise $2m$ tane geniş açılı, $2m + 2$ tane dar açılı çizgi mevcuttur,
- $n = 4m + 3$ ise $2m + 1$ tane geniş açılı, $2m + 2$ tane dar açılı çizgi mevcuttur.

Herhangi bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeni için dar ve geniş oluşum çizgi sayısının genelleştirilmesi Tablo 2’de gösterilmiştir. Tablodan herhangi bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeninde dar ve geniş oluşum çizgi sayısını dar ve geniş sütunlarında belirlerken n dörde bölünür. Kalan 0 ise her sütun $\frac{n}{4}$ sayıda olur. Kalan 1 ise ilk sütun $\frac{n}{4} + 1$ sayıda, diğer üç sütun $\frac{n}{4}$ sayıda olur. Kalan 2 ise birinci ve üçüncü sütun $\frac{n}{4} + 1$ sayıda, diğer iki sütun $\frac{n}{4}$ sayıda olur. Kalan 3 ise ilk üç sütun $\frac{n}{4} + 1$ sayıda, son sütun $\frac{n}{4}$ sayıda elde edilir.

Tablo 2. $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeninde dar ve geniş oluşum çizgi sayıları

$\{n/k\}$	Dar	Geniş	Dar	Geniş
$\{3/k\}$	1	1	1	
$\{4/k\}$	1	1	1	1
$\{5/k\}$	2	1	1	1
$\{6/k\}$	2	1	2	1
$\{7/k\}$	2	2	2	1
$\{8/k\}$	2	2	2	2
$\{9/k\}$	3	2	2	2
$\{10/k\}$	3	2	3	2
$\{11/k\}$	3	3	3	2
$\{12/k\}$	3	3	3	3
$\{13/k\}$	4	3	3	3
$\{14/k\}$	4	3	4	3
$\{15/k\}$	4	4	4	3
$\{16/k\}$	4	4	4	4
$\{17/k\}$	5	4	4	4
$\{18/k\}$	5	4	5	4
$\{19/k\}$	5	5	5	4
$\{20/k\}$	5	5	5	5
$\{21/k\}$	6	5	5	5
$\{22/k\}$	6	5	6	5
$\{23/k\}$	6	6	6	5
...
$\{(4m)/k\}$	m	m	m	m
$\{(4m+1)/k\}$	$m+1$	m	m	m
$\{(4m+2)/k\}$	$m+1$	m	$m+1$	m
$\{(4m+3)/k\}$	$m+1$	$m+1$	$m+1$	m
...

$n=(4m) \geq 4, n=(4m+1) \geq 5, n=(4m+2) \geq 6, n=(4m+3) \geq 3$

3.1.5 Yıldız koordinatlar

Burada, oluşum çizgilerinin kesişim noktalarına “yıldız koordinatlar” adı verilerek genel belirleme kuralları ve özellikleri elde edilecektir.

Tanım 3.4 $k \geq 1, n \geq 3$ ve $k, m, n \in N$ olmak üzere herhangi bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeninde n tane oluşum çizgisinin kesişmesi ile oluşan nk sayıda noktayı

- $n = 4m$ ise $X = \{1, 2, \dots, 2m\}$ ve $Y = \{1, 2, \dots, 2m\}$
- $n = 4m + 1$ ise $X = \{1, 2, \dots, 2m + 1\}$ ve $Y = \{1, 2, \dots, 2m\}$
- $n = 4m + 2$ ise $X = \{1, 2, \dots, 2m + 2\}$ ve $Y = \{1, 2, \dots, 2m\}$
- $n = 4m + 3$ ise $X = \{1, 2, \dots, 2m + 2\}$ ve $Y = \{1, 2, \dots, 2m + 1\}$

biçiminde parçalayabiliriz. $a, b, c \in X, d, e, f \in Y$ olmak üzere

$$(d_a, d_b), (d_c, g_d), (g_e, g_f) \tag{1}$$

noktalarından her birine “yıldız koordinat” denir. Burada, d_a : a . dar açılı doğruyu ve g_d : d . geniş açılı doğruyu belirtsin. Burada (d_a, d_b) ise d_a ve d_b doğrularının kesişim noktasıdır. (d_a, d_b) ve (g_e, g_f) yıldız koordinatlarında bir doğru kendisi ile bir noktada kesişemeyeceği için $a \neq b$ ve $e \neq f$ olmak zorundadır. Yıldız koordinatlarda doğruların biri dar açılı diğeri geniş açılı ise, sıralı ikili de her zaman ilk terim dar açılı doğruları ikinci terim geniş açılı doğruları ifade etmektedir.

Herhangi bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeninde yıldız koordinatları belirlemek için aşağıdaki adımlar takip edilir:

1. Adım. Herhangi bir çember katmanı, j . ($j = 1, 2, \dots, k$) belirlenir.

2. Adım. Yıldız koordinatlar belirlenirken iki satırlı ya da sütunlu bir tablo oluşturulur.

3. Adım. $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgenin oluşum çizgilerinin açılal dizilim kurallarına bakılarak tablonun birinci satırı ya da sütunu elde edilir.

4. Adım. Birinci satır ya da sütundaki dizilimlerden ikinci satırı ya da sütunu yazarken sondan itibaren j adım geri gidilir. Elde ettiğimiz yeni diziliminin ilk elemanı birinci satırdaki ya da sütundaki d_1 ile eşleştirilip sırasıyla devam edilir. Bu şekilde j . katmandaki tüm yıldız koordinatlar elde edilir.

Örnek 3.1 Şekil 7’de verilen $\{17/6\}$ düzgün yıldız çokgeni üzerinde 4. katmanda bulunan tüm yıldız koordinatları elde edelim. Tablo 1’de verilen açılal dizilimlerden birinci sütunu, sondan itibaren 4 adım geri giderek ikinci sütunu ve üçüncü sütunda yıldız koordinatları Tablo 3’deki gibi elde ederiz.

Tablo 3. $\{17/6\}$ düzgün yıldız çokgeninde 4. katman üzerindeki yıldız koordinatlar

$\{17/6\}$		Yıldız koordinatlar
d_1	g_5	(d_1, g_5)
d_2	g_6	(d_2, g_6)
d_3	g_7	(d_3, g_7)
d_4	g_8	(d_4, g_8)
d_5	d_1	(d_5, d_1)
g_1	d_2	(d_2, g_1)
g_2	d_3	(d_3, g_2)
g_3	d_4	(d_4, g_3)
g_4	d_5	(d_5, g_4)
d_6	g_1	(d_6, g_1)
d_7	g_2	(d_7, g_2)
d_8	g_3	(d_8, g_3)
d_9	g_4	(d_9, g_4)
↑ g_5	d_6	(d_6, g_5)
↑ g_6	d_7	(d_7, g_6)
↑ g_7	d_8	(d_8, g_7)
↑ g_8	d_9	(d_9, g_8)

Örnek 3.2 $\{27/8\}$ düzgün yıldız çokgeninde 6. ve 5. katmandaki yıldız koordinatları bulalım.

$\{27/8\}$ düzgün yıldız çokgeninde dar ve geniş oluşum çizgilerini çizim yapmadan, Tablo 1 ve Tablo 2’de elde ettiğimiz algoritmaları kullanarak bulabiliriz;

$$\{(4m + 3)/k\} \Rightarrow d_1 d_2 \dots d_{m+1} g_1 g_2 \dots g_{m+1} d_{m+2} d_{m+3} \dots d_{2m+1} g_{m+2} g_{m+3} \dots g_{2m+1} \tag{2}$$

6. çember katmanındaki yıldız koordinatlar;

$$d_1 d_2 d_3 d_4 d_5 d_6 d_7 g_1 g_2 g_3 g_4 g_5 g_6 g_7 d_8 d_9 d_{10} d_{11} d_{12} d_{13} d_{14} g_8 g_9 g_{10} g_{11} g_{12} g_{13} \\ g_8 g_9 g_{10} g_{11} g_{12} g_{13} d_1 d_2 d_3 d_4 d_5 d_6 d_7 g_1 g_2 g_3 g_4 g_5 g_6 g_7 d_8 d_9 d_{10} d_{11} d_{12} d_{13} d_{14}$$

$$\{27/8\} \rightarrow (d_1, g_8), (d_2, g_9), (d_3, g_{10}), (d_4, g_{11}), (d_5, g_{12}), (d_6, g_{13}), (d_7, d_1), \\ (d_2, g_1), (d_3, g_2), (d_4, g_3), (d_5, g_4), (d_6, g_5), (d_7, g_6), (g_7, g_1), \\ (d_8, g_2), (d_9, g_3), (d_{10}, g_4), (d_{11}, g_5), (d_{12}, g_6), (d_{13}, g_7), (d_{14}, d_8), \\ (d_9, g_8), (d_{10}, g_9), (d_{11}, g_{10}), (d_{12}, g_{11}), (d_{13}, g_{12}), (d_{14}, g_{13})$$

ve benzer olarak 5. çember katmanındaki yıldız koordinatları;

$$d_1 d_2 d_3 d_4 d_5 d_6 d_7 g_1 g_2 g_3 g_4 g_5 g_6 g_7 d_8 d_9 d_{10} d_{11} d_{12} d_{13} d_{14} g_8 g_9 g_{10} g_{11} g_{12} g_{13} \\ g_9 g_{10} g_{11} g_{12} g_{13} d_1 d_2 d_3 d_4 d_5 d_6 d_7 g_1 g_2 g_3 g_4 g_5 g_6 g_7 d_8 d_9 d_{10} d_{11} d_{12} d_{13} d_{14} g_8$$

$$\{27/8\} \rightarrow (d_1, g_9), (d_2, g_{10}), (d_3, g_{11}), (d_4, g_{12}), (d_5, g_{13}), (d_6, d_1), (d_7, d_2), \\ (d_3, g_1), (d_4, g_2), (d_5, g_3), (d_6, g_4), (d_7, g_5), (g_6, g_1), (g_7, g_2), \\ (d_8, g_3), (d_9, g_4), (d_{10}, g_5), (d_{11}, g_6), (d_{12}, g_7), (d_{13}, d_8), (d_{14}, d_9), \\ (d_{10}, g_8), (d_{11}, g_9), (d_{12}, g_{10}), (d_{13}, g_{11}), (d_{14}, g_{12}), (g_{13}, g_8)$$

şeklinde elde edilir.

4. Tartışma ve sonuçlar

Bu çalışma kapsamında,

- Düzgün yıldız çokgenler için yeni tanımlar ve özelliklerle beraber farklı bir çizim tekniği geliştirilmiştir.
- Düzgün yıldız çokgenleri oluşturan oluşum çizgileri yatay eksenle oluşturdukları açılara göre “dar açılı çizgi” ve “geniş açılı çizgi” şeklinde adlandırılıp önemli sonuçlar elde edilmiştir.
- Düzgün yıldız çokgen üzerinde dar ve geniş oluşum çizgilerinin yerleşim düzeni ile dar ve geniş oluşum çizgi sayısı mod 4’e göre genelleştirilmiştir.
- Herhangi bir düzgün yıldız çokgende oluşum çizgilerinin kesişmesiyle oluşan noktalardan geçen çemberlere “çember katmanları” ve oluşum çizgilerinin kesişim noktalarına “yıldız koordinatlar” adı verilip özellikleri incelenmiştir.
- Herhangi bir düzgün yıldız çokgende açılarına göre oluşum çizgilerinin dizilimini ve yıldız koordinatların konumlarını şekil çizmeden belirleyebileceğimiz bağıntılar geliştirilmiştir.
- Yıldız koordinat tespiti için örnek uygulamalar yapılmıştır.

Kaynaklar

- Arslan, M. ve Tuncel, Y. (2019). Battalgazi Ulu Camii ve geometrik analizler. Yeditepe Üniversitesi Tarih Bölümü Araştırma Dergisi, 2 (5), 104-123.
- Bradwardine, T. (1989). Geometria Speculativa; Stuttgart: Steiner-Verl. Wiesbaden, Germany.
- Coxeter, H.S.M. (1969). Introduction to Geometry, Star polygons p.36-38, 2nd ed., Wiley, New York.
- Coxeter, H.S.M. (1974). Regular Complex Polytopes, Cambridge University Press, London.
- Grunbaum, B. and Shephard, G. C. (1977). Tilings by Regular Polygons, Mathematics Magazine 50, 227–247 and 51, 205–206.
- Khamjane, A. and Benslimane, R. (2018). A computerized method for generating islamic star patterns, Computer-Aided Design, 97, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2017.11.002>.
- Kepler, J. (1997). Harmonices Mundi, Vol. 1, Gottfried Tampach, 1619; English transl., The Harmony of the World, American Philosophical Society, ABD.
- Mülayim, S. (1982). Anadolu Türk Mimarisinde Geometrik Süslemeler. Kültür Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- Wilson, R.S. (2001). Regular Star Polygons, Sonoma State University, California. (2019, 16 Aralık). Erişim adresi: <http://web.sonoma.edu/users/w/wilsonst/papers/stars/default.html>

Volkanik tüf esaslı geopolimerlerin basınç dayanımına kür süresi ve sıcaklığın etkileri

Effect of curing time and temperature on compressive strength of volcanic tuff-based geopolymer

Sevgi ÖZEN*^{1,a}

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Rize

• Geliş tarihi / Received: 23.01.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 02.03.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 15.03.2021

Öz

Çimento klinkeri üretimi esnasında atmosfere salınan CO₂ gazı sera etkisi nedeniyle küresel ısınmaya neden olmaktadır. Günümüzde bu durum çok tehlikeli boyutlara ulaşmış olup insan yaşamını tehdit eder hale gelmiştir. Bu noktada klinker içermeyen geopolimer üretimi bilim insanları tarafından etkili bir çözüm olarak sunulmaktadır. Bu çalışmada volkanik tüf esaslı geopolimerlerin Portland çimentosuna alternatif kullanım potansiyelleri araştırılmıştır. Araştırma neticesinde volkanik tüf katkılı geopolimerin zeolit içermemesine rağmen makul basınç dayanım değerlerine ulaştığı ve dolayısıyla inşaat sektöründe üretim potansiyelinin bulunduğu tespit edilmiştir. Volkanik tüf esaslı geopolimer dayanımı üzerinde esas etkili mineralin feldispat olduğu, bunun yanında kuvars mineralinin hammaddenin fiziksel özelliklerine etki dolayısıyla geopolimerleşme üzerinde pozitif etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yüksek erken basınç dayanım için yüksek sıcaklıklarda termal kür işlemi, yüksek geç basınç dayanım için ise düşük sıcaklıklarda termal kür işlemi önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Basınç dayanım, Geopolimer, Kür süresi, Sıcaklık, Volkanik tüf

Abstract

During cement clinker production, CO₂ gases released into the atmosphere causes Global warming due to the greenhouse effect. Nowadays, this situation has reached very dangerous levels and threatened the human life. At this point, the production of clinker free-geopolymer is offered by scientist as an effective solution. In this study, the potential of usability of volcanic tuff-based geopolymer to the Portland cement was investigated. As a result of the research, although the volcanic tuff-based geopolymer does not contain zeolite, it has reached reasonable compressive strength values, and therefore has a production potential in the construction sector. It has been determined that the main effective mineral on the strength of volcanic tuff-based geopolymer is feldspar, besides, quartz has a positive effect on the geopolymerization due to the effect on the physical properties of the raw material. In addition, thermal curing at high temperatures is recommended for high early compressive strength achievements, and thermal curing at low temperatures is recommended for high late strength achievements.

Keywords: Compressive strength, Geopolymer, Curing time, Temperature, Volcanic Tuff

*^a Sevgi ÖZEN, sevgi.ozen@erdogan.edu.tr, Tel: (464) 223 75 18, ORCID: 0000-0002-5699-3000

1. Giriş

Portland çimento üretimi, şu an dünyadaki CO₂ salınımının %8'inden sorumlu tutulmaktadır (Shi vd., 2011). Bunun nedeni, 1 ton Portland çimento üretimi neticesinde yaklaşık olarak 800 kg CO₂'in açığa çıkmasıdır (Van Deventer vd., 2012). 2017 yılında dünya çimento üretimi ortalama olarak 4 milyar tona ulaşmıştır. Bu veri günümüzde çimento üretiminin çok tehlikeli boyutlarda sera etkisine neden olabileceğini göstermektedir. Şu an sahip olunan durumun yanında, artan kentleşme ve yapılaşmadan ötürü çimentoya duyulan ihtiyacın hiç azalmayacağı hatta giderek artacağı böylece çimento üretiminden kaynaklı küresel ısınma probleminin geri dönülemez boyutlara ulaşacağı aşikârdır.

Yukarıda bahsi geçen nedenlerden ötürü klinker üretimi esnasında oluşan çevresel etkinin azaltılması konusu araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Çimento endüstrisinin dünyaya verdiği zarar geri dönülemez boyutlara ulaşmadan önce insanlığın bu konuda önemli adımlar atmasının gerekliliği pek çok kuruluş tarafından kabul edilmektedir. Aslında klinkerin neden olduğu zararlı etkinin azaltılması için katkılı çimentolar uzun zamandan beri kullanılabilmektedir. Ancak miktar olarak ele alındıklarında sera gaz etkisini azaltma düzeyine ulaşamamışlardır. Ayrıca katkılı çimento düşük erken dayanım gibi oldukça önemli bir dezavantaja da sahiptir.

Dolayısıyla araştırmacılar katkılı çimentodan daha etkili bağlayıcı malzemelerin arayışına girmişlerdir. Bu yeni nesil malzemeler arasından, geopolimer olarak isimlendirilen malzeme oldukça umut verici niteliktedir (Davidovits, 1994). 1 ton Portland çimento üretimi ile karşılaştırıldığında geopolimerler %90 oranına kadar CO₂ salınımını düşürebilmektedirler. Yangına ve ağır iklim şartlarına dayanıklı yapıların üretimi, uçak endüstrisi, tarihsel yapıların restorasyonu, nükleer atıkların depolanması gibi pek çok potansiyel kullanım alanı bulunan geopolimerlerin günümüzde Portland çimentosuna önemli bir alternatif oldukları düşünülmektedir.

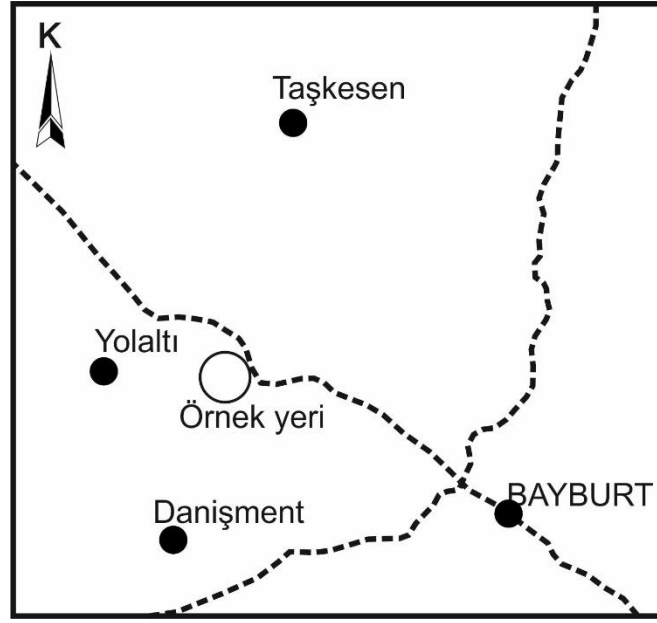
Geopolimerler klinker üretiminde olduğu gibi yüksek sıcaklıklara (1400°C) ihtiyaç duyulmadan, daha düşük sıcaklıklarda (örneğin 40°C) üretimi yapılabilen ve kısa sürede sertleşebilen amorf ve/veya yarı kristal ve üç boyutlu geopolimerik yapıların bir araya gelmesiyle oluşan inorganik bağlayıcı malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Geopolimer başlangıç malzemesi olarak alümina

silikat içeriğine sahip doğal veya atık herhangi bir malzeme kullanılabilmektedir. Bu nedenle geopolimer hammaddesi olarak uçucu kül, yüksek fırın cürufu, atık cam, metakaolin, puzulanlar ve volkanik tüf gibi çok çeşitli hammadde kaynakları kullanılabilmektedir.

Türkiye volkanik tüf kaynakları bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Tüf, volkanik patlama neticesinde açığa çıkan küllerden oluşan bir kaya türüdür (Fisher ve Schmincke, 1984). İçerisinde ikincil olarak bulunan ve kayaca endüstriyel değerini veren zeolit oluşumları yaygındır. Literatürde farklı zeolitlerin (klinoptilolit, mordenit, analsim) geopolimerleşmelerinin araştırıldığı çalışmalar oldukça yaygındır (Villa vd., 2010; Tekin, 2016; Nikolov vd., 2020; Özen ve Alam, 2018; Baykara vd., 2017; Güngör, 2019). Ancak literatürde söz konusu tüflerin zeolit içermeyen eşlenikleri hakkında kısıtlı sayıda veriler mevcuttur (Ekinci vd., 2019). Volkanik tüflerin içerisinde geopolimerleşmeye katkısı olan zeolit dışında başka mineraller de bulunabilmektedir. Bu nedenle çalışmanın amacı zeolit içermeyen volkanik tüflerin geopolimer üretimine uygun olup olmadığının araştırılmasıdır. Ayrıca zeolit içermeyen volkanik tüf katkılı geopolimerlerin basınç dayanım özelliklerine kür süresi ve sıcaklığının etkisini incelemek böylece bu malzemeden üretilen geopolimerlerin inşaat alanında kullanım potansiyellerini ortaya koymaktır.

2. Materyal ve metot

Araştırmada geopolimer hammaddesi olarak kullanılan volkan tüfü, Bayburt Taşı olarak da adlandırılan ve volkano-sedimanter kayalardan meydana gelen (Eosen yaşlı) Yazyurdu Formasyonu'nun içerisinde bulunan tüf tabakalarından temin edilmiştir (Şekil 1). Örnekler yol kenarına yakın şekilde yüzeyleyen tüf tabakalarından alınmıştır. Bayburt Tüfünün içerisinde zeolit oluşumları olabileceğinden farklı bölgelerden örnek temini yapıp laboratuvarında XRD analiz ile zeolit içerip içermedikleri araştırılmıştır. Analiz neticesinde içerisinde zeolit bulunmayan yaklaşık 10 kg kadar tüf örneği öncelikle çeneli kırıcı ile yaklaşık 2-3 cm boyutuna indirgenmiştir. Ardından bilyeli değirmen ile 100 mikron elekten tanelerin tamamı geçecek şekilde öğütülmüştür. Bayburt Tüfünün kimyasal analizi XRF analizi ile tayin edilmiştir. İçerisinde bulunan fazların miktarı ise kantitatif X-ray difraksiyon (QXRD) analizi ile saptanmıştır (Philips PW 1730 difraktometre, CuK α radiation, 40kV, 30 mA).



Şekil 1. Bayburt Tüfü'nün yer bulduru haritası

Çalışma esnasında Bayburt Tüfünü aktive etmek için alkali aktivatör olarak sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Cam suyu olarak da adlandırılan ve sıvı formda bulunan sodyum silikat (SiO_2 : %27.7; Na_2O : %9.8; H_2O : %62.5) tüf karışımının içerisine direk eklenmiştir. Pellet şeklinde temin edilen (%98 saflıkta) sodyum hidroksit (12 M) ise karışıma eklenmeden bir gece önce damıtılmış su ile çözelti haline getirilerek kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Portland çimentosunun aksine geopolimer karışımları hazırlanırken başlangıç malzeme farklılıkları, kullanılan solüsyon farklılıkları gibi nedenlerden ötürü standart bir yöntem uygulanamamaktadır. Bunun yerine genel olarak kabul görmüş ve her bir örnek için aynı şekilde uygulanan karışım metodu yapılmaktadır. Geopolimer pastalarının hazırlanması esnasında Bayburt Tüfüne öncelikle sodyum hidroksit solüsyonu eklenmiş ve karışım yaklaşık olarak 2-4 dakika kadar karıştırılmıştır. Daha sonra meydana gelen homojen karışıma sodyum silikat eklenmiş ve karışım ilave 2-4 dakika kadar daha karıştırılmıştır. Karışımlarda tüf/aktivatör oranı 2

ve $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranı 2 olarak kullanılmıştır. Karışımlar küp kalıplara (5x5x5 cm) yerleştirildikten sonra etüve konulmuştur. Üretilen geopolimerlere kür sıcaklığının etkisini incelemek için 40°C ve 90°C olmak üzere iki farklı sıcaklık etkisi uygulanmıştır. Kür süresi olarak ise 7, 28, 56 ve 90 günlük kür süreleri uygulanmıştır. Basınç dayanım analizleri üç adet küp numunesi üzerinde 7, 28, 56 ve 90 günlerde yapılmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Karakterizasyon

Bayburt Tüfü'nün kimyasal oksit değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Toplam SiO_2 ve Al_2O_3 değeri % 83.5'dir. Geopolimerleşme açısından malzemenin silika ve alümina değerlerinin yüksek olması reaksiyon açısından olumlu bir durum olarak değerlendirilmektedir. Tablo 1'den de görüldüğü üzere Bayburt Tüfü'nün reaktif silika ve alümina değeri oldukça yüksektir. Bu değerler malzemenin geopolimerik olarak aktif olacağını gösteren kanıt niteliğindedir. Tablo 1'e bakıldığında ayrıca K_2O ve Na_2O değerlerinin de yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Bayburt Tüfü'nün kimyasal kompozisyon değerleri

Kimyasal Analiz (%)								
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	L.O.I.	Toplam
71.2	12.3	1.33	2.69	1.25	3.49	3.74	4	100

Bayburt Tüfü'nün mineralojik faz içerikleri (kantitatif) Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2

incelendiğinde başlangıç malzemesinin içerisinde başlıca kuvars, feldispat ve mika

mineralinin bulunduğunu görülmektedir. Bu minerallerden kuvarsın literatürde geopolimerik olarak aktif olmadığı bilinmektedir (Kohout ve Koutnik, 2020). Ancak her ne kadar geopolimerik olarak aktif olmasa da sisteme kendi sertlik derecesinden ötürü tüfün öğütme esnasındaki fiziksel özelliklerine etkisinin olabileceği düşünülmektedir. K-feldispat ve plajiyoklas geopolimerik aktiviteleri yüksek minerallerdir. İki mineral kıyaslandığında, K-feldispatın

içerdiği K iyonu dolayısıyla plajiyoklasa göre daha reaktif olduğu bilinmektedir. Mika ise geopolimerik yönden aktif bir mineral değildir. Bu nedenle Bayburt Tüfünün içerisinde yüksek oranlarda bulunsa bile reaksiyona katkısının olmayacağı bilinmektedir. Geriye kalan kaolinit ve kalsit mineralleri geopolimerik olarak aktif mineraller olmalarına rağmen miktar olarak düşük (yaklaşık %5) olduklarından reaksiyon üzerinde çok fazla etkilerinin olmayacağı düşünülmektedir.

Tablo 2. Bayburt Tüfünün kantitatif X-ray difraksiyon (XRD) analizi

Mineralojik Kompozisyon (%)							
	Kuvars	K-feldispat	Plajiyoklas	Mika	Kaolinite	Kalsit	Toplam
Bayburt Tüfü	32	18	26	13	5	6	100

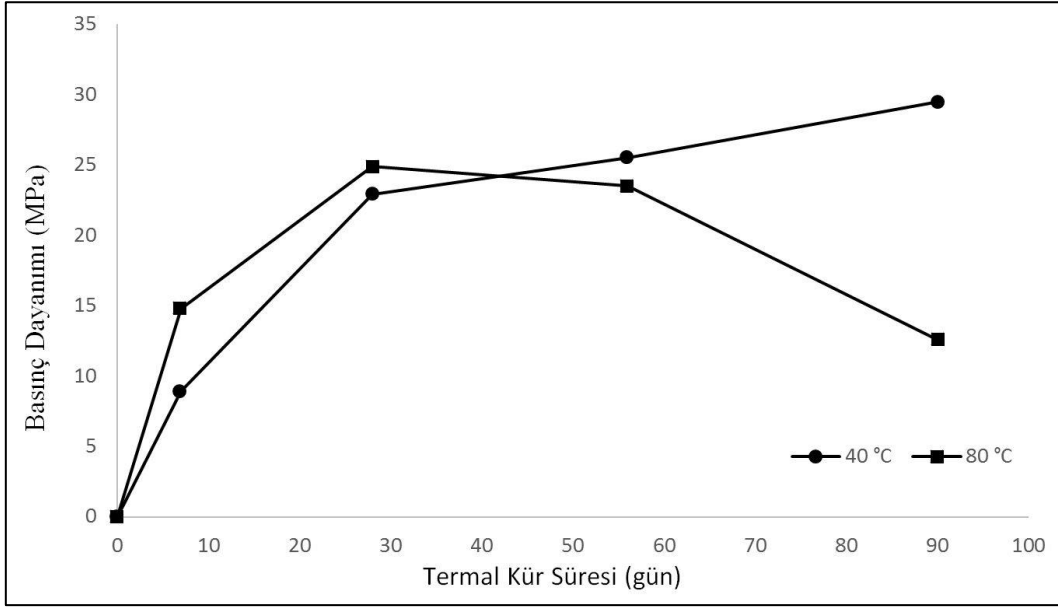
Yukarıda yapılan açıklamaların ışığı altında malzemelerin reaksiyonlarını yorumlamada içerisinde bulunan minerallerin ne olduğunu saptamanın yanında bu minerallerden ne kadar bulunduğunun tespitinin de önemli olduğunu görmekteyiz. Eğer minerallerin karakterizasyonu sadece XRD analizi ile fazların ne olduğunun tespit edilmesiyle sınırlı kalsaydı, kaolinitin geopolimerik reaksiyona katıldığı kanısına varılacaktı. Ancak, kantitatif XRD analizi neticesinde tüfün içerisinde kaolinitin %5 oranında bulunduğunun saptanmasıyla reaksiyona katılımının çok önemli oranlarda olmayacağını söylenebilir. Bu nedenle geopolimerik reaksiyonu doğru yorumlamak için hammaddelerin kantitatif olarak mineral tayinlerinin yapılması önerilmektedir.

3.2. Basınç dayanım analizi

Literatürde, doğal puzolanlardan olan volkanik tüflerin zeolit içeren varyasyonlarının basınç dayanım özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmalar arasından Villa vd., (2010), 7 Molarlık sodyum hidroksit çözeltisi kullanarak, tüf/aktivatör oranı 10 olan ve 40°C'de 90 gün süreyle termal kür prosesi uyguladığı klinoptilolit esaslı geopolimerler için en yüksek basınç dayanım değerini 38 MPa olarak saptamıştır. Nikolov vd., (2020) ise kullanımdan önce 900°C'de kalsinasyon işlemine maruz bıraktığı klinoptilolit içeren tüfleri potasyum hidroksit (KOH) ve potasyum silikat (K_2SiO_3) ile aktive ettikten sonra 3 gün süreyle 80°C'de termal

kür işlemine maruz bırakmış ve en yüksek basınç dayanım değerini 43 MPa (28 günlük) olarak saptamıştır. Her ne kadar Nikolov vd., (2020)'nin çalışmasında yüksek dayanım değerlerine ulaşılsa da malzemeyi önce kalsine etmek daha sonra tekrar termal kür işlemine maruz bırakmak geopolimer kullanımının temel amacı olan CO₂ salınımını azaltma prensibine ters düşmektedir. Bu çalışmalarda üretilen geopolimerlerin basınç dayanımını veren faz, kullanılan doğal volkanik tüflerin içerisinde bulunan klinoptilolit mineralidir. Klinoptilolit minerali aynı zamanda katkı çimentolarda da kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan volkanik tüfün içerisinde ise klinoptilolit bulunmamaktadır. Buna rağmen Şekil 1'de gösterilen basınç dayanım verilerine dayanarak malzemenin en az klinoptilolit içeren eşlenikleri kadar aktif olduğunu görülmektedir. Şöyle ki 40°C'de 28 gün süreyle termal kür işlemine maruz bırakılan Bayburt Tüfü esaslı geopolimerin basınç dayanım analiz sonucu 23 MPa'dır. Bayburt Tüfü esaslı geopolimerin en yüksek basınç dayanım değeri ise (40°C'de 90 günlük termal kür işlemine tabi tutulan) 30 MPa'dır.

Şekil 1'de verilen analiz sonuçlarına göre kür süresi ve kür sıcaklığının volkanik tüf katkılı geopolimerlerin basınç dayanım değerleri üzerinde oldukça etkili parametreler olduğunu görülmektedir. Aşağıda bu parametrelerin geopolimerler üzerindeki etkileri sırasıyla incelenmiştir.



Şekil 2. Volkanik tüf esaslı geopolimerlerin basınç dayanımları

3.2.1. Kür sıcaklığı ve kür süresinin etkisi

Yapılan araştırmalara dayanarak kür süresi olarak 40°C ve 80°C seçilmiştir. Bu değerlerden düşük kür sıcaklığı olan 40°C'nin tercih edilmesinin nedeni, geopolimerlerin üretim amacının CO₂ salınımını azaltmak olduğundan literatür bilgilerine dayanarak en düşük ve en etkili sıcaklığın seçilmeye çalışılmasıdır. Diğer bir sıcaklık etkisi olan 80°C'nin seçilmesinin nedeni ise genellikle geopolimer üretimlerinde meydana gelen düşük erken dayanım gelişimi dezavantajının yüksek termal sıcaklık ile giderilmeye çalışılmasındandır.

Analiz sonuçlarını incelendiğinde öncelikle Bayburt Tüfü'nün klinoptilolit içermemesine rağmen geopolimerik olarak oldukça aktif olduğunu görülmektedir (Şekil 2). Bunun nedeni Bayburt Tüfü'nün içerisinde toplam olarak %44 miktarında bulunan feldispat mineralidir. Feldispat minerali literatürde aktif bir malzeme olarak saptanmıştır (Xu ve van Deventer, 2002). Ayrıca Bayburt Tüfü esaslı geopolimerin içerisinde feldispat minerallerine ek olarak bulunan %32 miktarındaki kuvars mineralinin de geopolimerleşme üzerinde direk reaksiyona katılım yolundan ziyade öğütme esnasında kayacın tane boyut dağılımının kontrolü, kayacın su ihtiyacının kontrolü gibi parametrelere etkisi dolayısıyla olabileceği kanısına varılmıştır. Araştırmacının önceki çalışmalarına dayanarak daha düşük kuvars içerikli volkanik tüf çalışmalarına kıyasla, kuvars içeriği fazla olan geopolimerin çok daha kolay işlenebildiği ve kalıplara yerleştiği gözleminde bulunmuştur.

Ayrıca kuvars mineralinin geopolimerik reaksiyona dolaylı etkisinin incelenmesi ileriki çalışmalar olarak önerilmektedir.

Şekil 2'yi incelendiğinde kür sıcaklığının geopolimer üretiminde oldukça etkili bir parametre olduğunu görülmektedir. Volkanik tüf esaslı geopolimer 40°C'de 7 gün süreyle termal kür işlemine maruz bırakılırsa düşük basınç dayanım elde edilebilmektedir (9 MPa). Ancak aynı geopolimer örneği 80°C'de 7 gün termal olarak kürlenirse daha yüksek basınç dayanım elde edilebilmektedir (15 MPa). Bayburt Tüfü esaslı geopolimer için kür sıcaklığının 28 günlük pastalar üzerindeki etkisi yükselerek devam etmiştir. Şöyle ki 40°C'de 28 gün süreyle termal kür işlemine maruz bırakılan geopolimerin basınç dayanımı oldukça artmış (23 MPa) ancak 80°C'de 28 gün süreyle termal olarak kürlenen geopolimerin basınç dayanımından (24 MPa) biraz daha düşük çıkmıştır. Bu dayanım davranışı kür süresi ilerledikçe tersi duruma dönmüştür. 40°C'de 56 gün süreyle termal kür işlemine tutulan geopolimer 26 MPa basınç dayanımına ulaşırken, 80°C'de 56 günlük termal kürlemeye maruz bırakılan geopolimerin basınç dayanım değerinde (24 MPa) düşüş saptanmıştır. Bu düşüş termal kür süresi 90 güne çıkarıldığında çok daha bariz şekilde görülmektedir (Şekil 2). Ayrıca diğer bir önemli veri, 80°C'de termal kür işlemine tabi tutulan geopolimer için, kür süresi ilerledikçe basınç dayanımında kararlı davranıştan ziyade negatif yönde azalış tespit edilmiştir. Özellikle 80°C'de 90 gün süreyle termal kür işlemine maruz bırakılan geopolimer basınç dayanım değerlerinde oldukça yüksek miktarda düşüşler saptanmıştır. Bunun

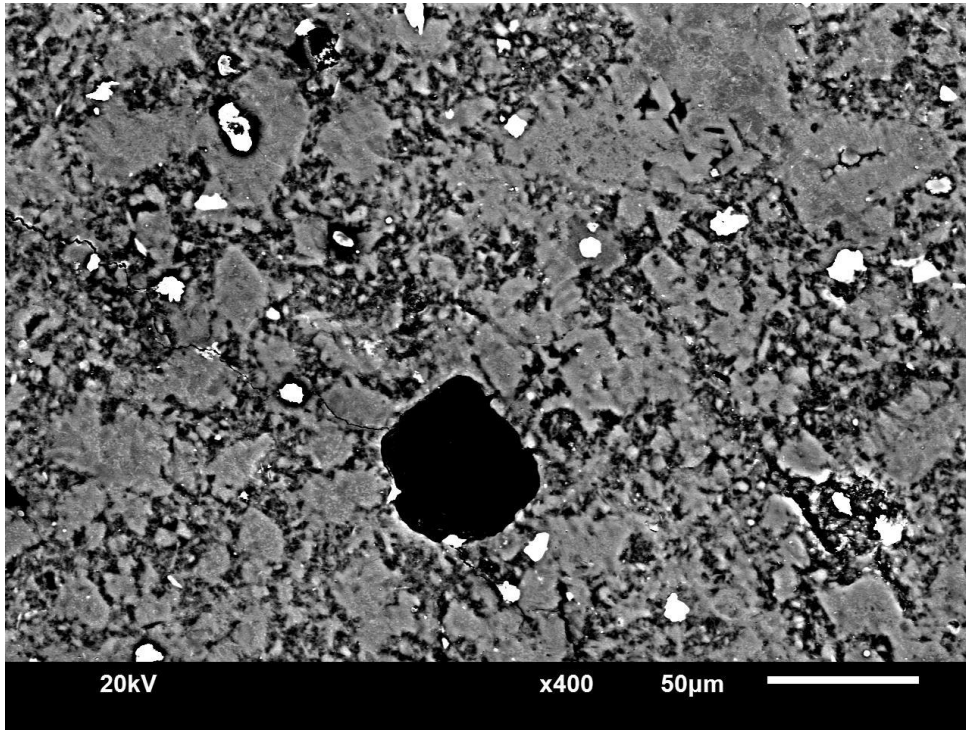
nedeninin yüksek sıcaklıklarda termal kür işlemi esnasında geopolimerin içerisinde bulunan solüsyondan kaynaklı nemin hızlı bir şekilde ortamdaki uzaklaşması ve reaksiyon için gerekli alkali ortamın devam edememesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Tüm bu bulgular dahilinde yüksek erken dayanım eldesi için yüksek termal kür sıcaklığı ve erken termal kür süresi, yüksek geç dayanım değerleri eldesi için ise düşük termal kür sıcaklığı ve geç termal kür süreleri tavsiye edilmektedir.

3.3. Volkanik tüf esaslı geopolimerin mikro yapısal analizi

Taramalı elektron mikroskopisi (SEM) aracılığıyla Bayburt Tüfü esaslı geopolimerin mikro yapısal özellikleri incelenmiştir. Şekil 3'te görüldüğü üzere geopolimer pastasının termal kür işlemi esnasında içerisinde yaklaşık 25 µm çapında hava kabarcığının hapsediği görülmektedir. Geopolimer pasta ya da harç hazırlama esnasında hava kabarcıklarının oluşması kaçınılmaz bir

durumdur. Bu boşlukların dayanım üzerinde negatif etkisinin olduğu düşünülmektedir.

Şekli 3'te dikkat çeken diğer bir durum ise geopolimer ürünlerinin farklı gir tonlarında gözükmesidir. Bilindiği üzere SEM incelemelerinde daha açık bölgeler daha yüksek atom numarasına sahip fazları, daha koyu gözüken bölgeler ise daha düşük atom numaralı fazları işaret etmektedir. Buna dayanarak Şekil 3'te ayırt edilen en açık fazların Ca'ca zengin geopolimer ürün olma ihtimali yüksektir. Bu ürün muhtemelen Bayburt Tüfünün içerisinde bulunan Ca'ca yüksek plajiyoklas ile alkali çözeltinin girmiş olduğu reaksiyon neticesinde oluşan C-S-H fazıdır. Ancak daha kesin bir sonuca ulaşmak için SEM analizinin yanında kimyasal içeriğe işaret eden EDX analizi de önerilmektedir. Geriye kalan daha koyu görünümlü alanların ise diğer bir geopolimer ürünü olan geopolimerik jel olma olasılığı yüksektir. Zira geopolimere esas basınç dayanım değerlerini veren geopolimer ürün amorf ve/veya yarı amorf faz olan geopolimerik jeldir.



Şekil 3. Volkanik tüf esaslı geopolimerlerin 28 günlük SEM görüntüsü.

4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışma neticesinde ulaşılan sonuçlar ve ileriki çalışmalar için yapılan öneriler aşağıda verildiği gibidir:

- Volkanik Tüf esaslı geopolimerin inşaat alanında kullanılabilirliği mevcuttur.

- En yüksek basınç dayanım değeri 40°C'de kürlenmiş geopolimer için (90 günlük) 30 MPa olarak tespit edilmiştir.
- Geopolimerik reaksiyon gelişimine toplamda %44 oranında bulunan feldispat minerallerinin neden olduğu saptanmıştır.

- Kuvars mineralinin geopolimerik reaksiyona katılımından ziyade kayacın fiziksel özellikleri üzerindeki kontrolü sayesinde pozitif etkisinin olabileceği sonucuna varılmıştır.
- Erken dönemde yüksek basınç dayanımı için yüksek sıcaklıklarda kür işlemi, geç dönemde yüksek basınç dayanım için ise düşük sıcaklıklarda kür işlemine ihtiyaç belirlenmiştir.

Farklı feldispat grubu minerallerinin (ortoklas, albit) geopolimerik yönden karşılaştırılmaları böylece farklı katyonların (Na, K) geopolimerik reaksiyon üzerindeki etkilerinin saptanması ileriki çalışmalar olarak önerilmektedir.

Kaynaklar

- Baykara, H., Cornejo, M.H., Murillo, R., Gavilanes, A., Paredes, C. and Elsen J. (2017). Preparation, characterization and reaction kinetics of green cement: Ecuadorian natural mordenite-based geopolymers. *Materials and Structures*, 50, 188-200, <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1057-z>.
- Davidovits, J. (1994). Properties of geopolymer cements. In: *First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*, Kiev, Ukraine. pp. 131-149.
- Ekinci, E., Türkmen, İ., Kantarcı, F. and Karakoç, M.B. (2019). The improvement of mechanical, physical and durability characteristics of vşçanic tuff based geopolymer concrete by using nano silica, micro silica and Styrene-Butadiene Latex additives at different ratios. *Construction and Building Materials*, 201, 257-267, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.204>.
- Fisher, R.V. and Schmincke, H.U. (1984). *Pyroclastic rocks*. Springer Verlag, 472 pp.
- Güngör, D. (2019). Doğal zeolit-bazlı geopolimerlerin özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize.
- Kohout, J. and Koutnik, P. (2020). Effect of filler type on the thermo-mechanical properties of metakaolinite-based geopolymer composites. *Materials*, 13(10), 2395, <https://doi.org/10.3390/ma13102395>.
- Nikolov, A., Nugteren, H. and Rostovsky, I. (2020). Optimization of geopolymers based on natural zeolite clinoptilolite by calcination and use of aluminate activators. *Construction and Building Materials*, 243, 118257, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118257>.
- Özen, S. and Alam, B. (2018). Compressive strength and microstructural characteristics of natural zeolite-based geopolymer. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(1), 64-71, <https://doi.org/10.3311/PPci.10848>.
- Shi, C., Jimenez, A.F. and Palomo, A. (2011). New cements for the 21st century: The pursuit of an alternative to Portland cement. *Cement and Concrete Research*, 41, 750-763, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.016>.
- Tekin, İ. (2016). Properties of NaOH activated geopolymer with marble, travertine and volcanic tuff wastes. *Construction and Building Materials*, 127, 607-617, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.038>.
- Van Deventer, J.S.J., Provis, J.L. and Duxson, P. (2012). Technical and commercial progress in the adoption of geopolymer cement. *Minerals Engineering*, 29, 89-104, <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.09.009>.
- Villa, C., Pecina, E.T., Torres, R. and Gomez, L. (2010). Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite. *Construction and Building Materials*, 24, 2084-2090, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.052>.
- Xu, H. and van Deventer, J.S.J. (2002). Factors affecting the geopolymerization of alkali-feldspars. *Minerals and Metallurgical Exploration*, 19, 209-214, <https://doi.org/10.1007/BF03403271>.

Developing a real-time pattern matching algorithm using artificial neural network for a reliable quality control in industrial applications

Endüstriyel uygulamalarda güvenilir bir kalite kontrolü için yapay sinir ağı kullanan gerçek zamanlı bir desen eşleştirme algoritmasının geliştirilmesi

Burak GÜZELCE^{*1, a}, Gökay BAYRAK^{1, b}

¹Bursa Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, 16330, Bursa

• Geliş tarihi / Received: 17.11.2020

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 09.02.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 15.03.2021

Abstract

Today, making quality control systems with reliable accuracy is very important in producing industrial products with zero defects. In this respect, it is an essential issue that camera control systems work with reliable control algorithms. In this study, a real-time control algorithm using a pattern matching algorithm has been developed to optimize the minimum contrast parameter with an Artificial Neural Network (ANN). In the study, the comparison of three algorithms included in pattern matching in terms of time was made using LabVIEW image control tools. Besides, one of the most critical parameters in the low-discrepancy sampling algorithm, which gives good results in time, minimum contrast parameter is discussed. The optimization of this parameter is done by using the Levenberg-Marquardt training algorithm in ANN. The obtained results show that the proposed pattern matching algorithm using ANN for optimizing the minimum contrast parameter is fast and effective for quality control applications.

Keywords: Artificial neural network, Pattern matching, Pyramid matching

Öz

Günümüzde kalite kontrol sistemlerinin güvenilir bir doğrulukta yapılması, endüstriyel ürünlerin sıfır hata ile üretimi hedefi açısından oldukça önemlidir. Bu açıdan, kameralı kontrol sistemlerinin güvenilir kontrol algoritmaları ile çalışması önemli bir konudur. Bu çalışmada, desen eşleştirme algoritmasını kullanan gerçek zamanlı bir kontrol algoritması, minimum kontrast parametresini yapay sinir ağı (YSA) ile optimize edecek şekilde geliştirilmiştir. Çalışmada görüntü eşleştirmeye dahil edilen üç algoritmanın zaman açısından karşılaştırılması LabVIEW görüntü kontrol araçları kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca, zaman açısından iyi sonuçlar veren düşük-tutarsızlık örnekleme algoritmasında en önemli parametrelerden biri olan minimum kontrast parametresi tartışılmıştır. Bu parametrenin optimizasyonu YSA'da Levenberg-Marquardt eğitim algoritması kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan yöntem sayesinde, desen eşleştirmesinin hızlı ve etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Yapay sinir ağı, Desen eşleştirme, Piramit eşleştirme

*^a Burak GÜZELCE; burak.guzelce@gmail.com, Tel: (0224) 300 35 07, orcid.org/0000-0002-9353-1016

^b orcid.org/0000-0002-5136-0829

1. Introduction

Pattern matching technique is used in image processing in many areas such as tracking systems, quality control systems, counting processes, classification, and asset absence control. Pattern matching is the finding of the desired template image within an image. Thus, human errors in industrial applications have been minimized and made more stable. Many studies have been done in the literature on the subject (Kamtongdee et al., 2013; Hengdi et al., 2011; Panoiu et al., 2015; Hryniewicz et al., 2015; Patil and Ingle, 2020; Koniar et al., 2014; Rouget et al., 2018; Kalina and Golovanov, 2019; Zhou et al., 2020).

A study on the sex determination of silkworms (Kamtongdee et al., 2013) aimed to effectively classify weak silkworm pupae, an essential process in the silkworm industry. The normalized cross-correlation model is considered for silkworm gender identification. In another study (Hengdi et al., 2011), it was aimed to find defective characters in the bearing production process with the bearing character recognition system. Character recognition was done using normalization processes; character traits have been extracted and recognized. In another study on the subject (Panoiu et al., 2015), a study was conducted to recognize traffic lights. Character identification was made according to the color spectrum of traffic lights. LabVIEW National Instruments (NI) in a study of the application of image processing techniques using the Vision software (Hryniewicz et al., 2015), studies using the camera control technique for quality control of industrial products in the production process were made. In another study conducted in agriculture, weeds were determined to help the database's data to reduce the human factor (Patil and Ingle, 2020). The mechanical parts' visual control was carried out with different LabVIEW algorithms in ref. (Koniar et al., 2014). In the study, various field-programmable gate array (FPGA)-based pattern matching applications in industrial cybersecurity are discussed, and a few selected methods are compared (Rouget et al., 2018). In the study, an optical character recognition (OCR) algorithm based on template matching definition, which has adaptive binarization feature and does not require many training examples, is presented (Kalina and Golovanov, 2019). In the study, a systematic two-step model matching method is proposed to catch similar alarm floods in different processes (Zhou et al., 2020).

In this study, the development of the pattern matching algorithm was made by using LabVIEW

image control tools. Quality control of an industrial part was performed in real time with the developed algorithm. The pattern matching technique using the normalized cross-correlation function as a mathematical model is considered for the quality control test of the marking on a machined piece of metal. Pyramid matching and low discrepancy sampling models were used as pattern matching techniques in National Instruments (NI) Vision. Pyramid matching accuracy percentages and low discrepancy sampling models for this metal piece tested were compared in terms of response time. One of the most critical parameters in the low-discrepancy sampling algorithm, which gives good results in time, minimum contrast parameter is discussed. This parameter's optimization is done using the Levenberg-Marquardt training algorithm in an artificial neural network (ANN). In the study, the mathematical model of the pattern matching technique is explained in Part II. Section III includes the simulation results, and the results obtained are given in Section IV.

2. Materials and methods

In this study, the pattern matching technique is discussed. Pattern matching is finding a template image in an image using the normalized cross-correlation function as a mathematical model (Gonzalez and Woods, 2008).

The correlation function is defined as $C(i, j)$;

$$C(i, j) = \sum_{x=0}^{l-1} \sum_{y=0}^{k-1} w(x, y) f(x + i, y + j) \quad (1)$$

where $w(x, y)$ template image in $k \times l$ size and $f(x + y)$ (where $k \leq m$ and $l \leq n; i = 0, 1, \dots, m - 1, j = 0, 1, \dots, n - 1$.) the original image in $m \times n$ size.

In NI Vision, the pattern matching method consists of two phases: training and matching. During the training phase, the algorithm extracts the gray value and/or gradient value from the template image, and this learned information is stored as part of the template image. This information stored in the matching phase is extracted from the examination image by the model matching algorithm. This algorithm detects matches by determining the area in the examination image, where the highest cross-correlation is detected (National Instruments, 2005).

NI Vision uses two models in pattern matching, namely pyramid matching and low discrepancy sampling.

2.1. Pyramid matching

The pyramid matching model is the spatial sampling of both the template and the target image at smaller resolutions using Gaussian pyramids

(Jing et al., 2016). The image is first flattened with a Gaussian filter and then reduced to half size. This approach is done recursively and continues until the desired minimum size is reached. A matching approach is applied to Gaussian pyramids, starting with the lowest possible resolution, from less to more details (National Instruments, 2018). Pyramid matching model is shown in Figure 1 (Jing et al., 2016).

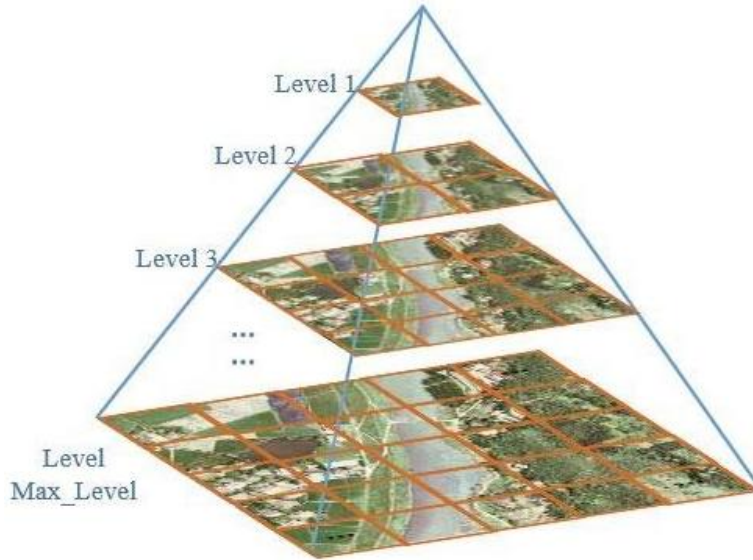


Figure 1. Visual representation of a 5-level image pyramid

In the study, the normalized cross-correlation is used for matching, and the square of the Euclidean distance between the two images is used as a measure of similarity.

Assuming that $w(x,y)$ template image in $k \times l$ size is placed in a $f(x+y)$ the original image in $m \times n$ size as in Figure 2, this dimension is defined as follows (Plötzeneder, 2010).

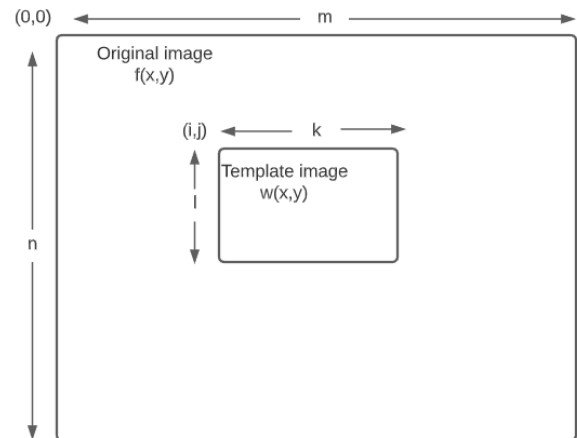


Figure 2. Correlation Procedure

$$d^2(i,j) = \sum_{x=0}^{l-1} \sum_{y=0}^{k-1} [w(x,y) - f(x+i,y+j)]^2 \tag{2}$$

$$d^2(i,j) = \sum_{x=0}^{l-1} \sum_{y=0}^{k-1} w(x,y)^2 - 2w(x,y)f(x+i,y+j) + f(x+i,y+j)^2 \tag{3}$$

In equation (3), the total energy of the template image;

$$\sum_{x=0}^{l-1} \sum_{y=0}^{k-1} w(x,y)^2 \tag{4}$$

is constant. Assuming that the density in the target image is more or less evenly distributed;

$$\sum_{x=0}^{l-1} \sum_{y=0}^{k-1} f(x+i,y+j)^2 \tag{5}$$

$$t(i,j) = \frac{\sum_{x=0}^{l-1} \sum_{y=0}^{k-1} (w(x,y) - \bar{w})(f(x+i,y+j) - \overline{f(i,j)})}{\sqrt{\sum_{x=0}^{l-1} \sum_{y=0}^{k-1} (w(x,y) - \bar{w})^2 \sum_{x=0}^{l-1} \sum_{y=0}^{k-1} (f(x+i,y+j) - \overline{f(i,j)})^2}} \tag{7}$$

is the normalized correlation function.

In NI Vision, the pyramid matching model is divided into a gray value method and a gradient method. While normalized pixel values are used in the gray value method, filtered edge pixels are used in the gradient method. Also, in the gradient method, vector correlation is used instead of normalized cross-correlation. The gradient method is also faster than the gray method, as less data is stored. However, it provides a very low solubility in the edge of the gradient method's sturdiness, and reliability is reduced in a higher resolution than the gray value model.

2.2. Sampling of low discrepancy (Image understanding)

Methods based on low discrepancy sampling are based on selecting pseudo-random points according to how accurately they represent their neighborhood. The template image is generally sampled with low discrepancy sequences such as Halton, Sobol, or Faure. In NI Vision, as seen in Figure 3, a smart sampling technique that includes edge pixels and region pixels is used to reduce the image's excess information (National Instruments, 2018).

Approximately constant. As a result, equation (2) remains the cross-correlation equation.

$$C(i,j) = \sum_{x=0}^{l-1} \sum_{y=0}^{k-1} w(x,y)f(x+i,y+j) \tag{6}$$

Here, if the original and template images coincide in (i,j), it is concluded that these images are similar. However, the matching fails in case of a change of image energy position. In such cases, a normalized correlation term is calculated. where t(i,j) is the average density in the template and the average density of the target image in the region overlapping the template (Plötzeneder, 2010),

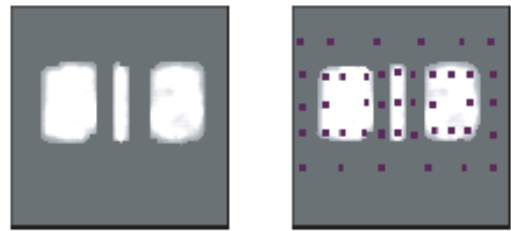


Figure 3. NI Vision low discrepancy sampling

In this sampling method, after the points are classified to the neighborhood value to increase efficiency, minimal values are discarded. Then, points with very high value are selected and used for cross-correlation search in the target image.

However, in this sampling, templates containing similar grayscale large regions and minimal templates may cause image analysis problems due to the small number of sample points (National Instruments, 2018).

3. Experimental study

The NI Vision Development Module (VDM) library is used for the system, and in Figure 4 below. The Pattern Matching Sub Virtual Instrument (SubVI) of the algorithm is below.

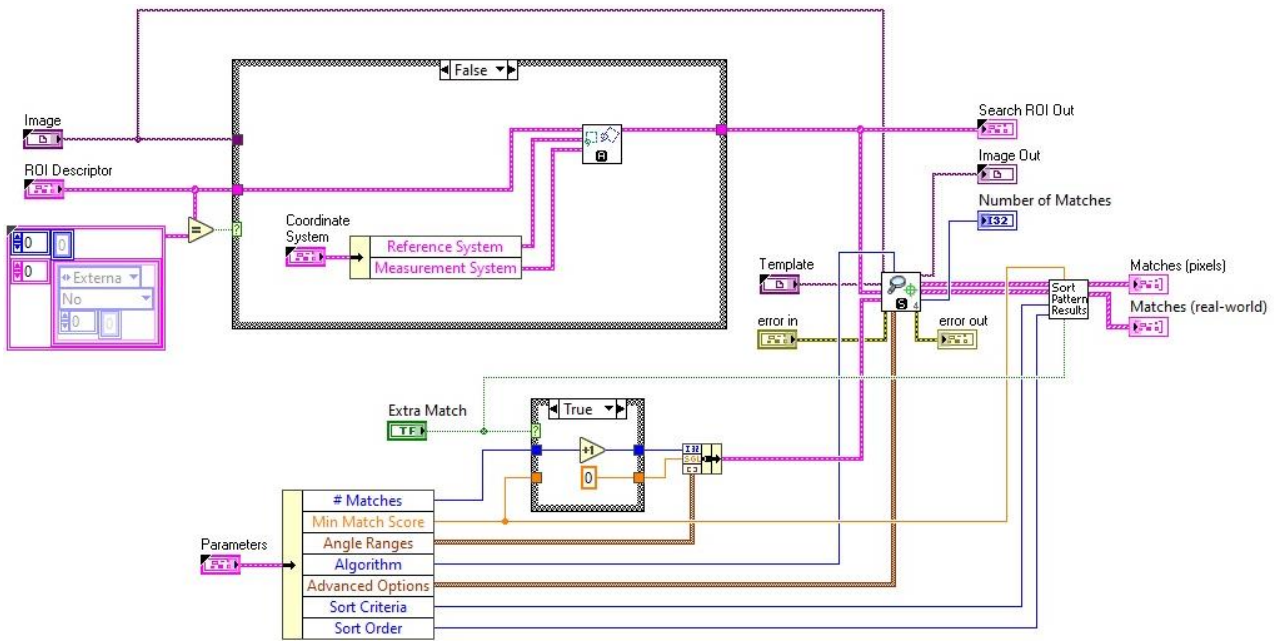


Figure 4.Match Pattern – Algorithm SubVI

The program working principle has two main stages. First, the image is taken, converted to Hue Saturation Lightness (HSL) form (Grayscale). The desired results are then obtained with the input

parameters in the Image Acquisition (IMAQ) Match Pattern 4 library block in Figure 5 in the NI VDM.

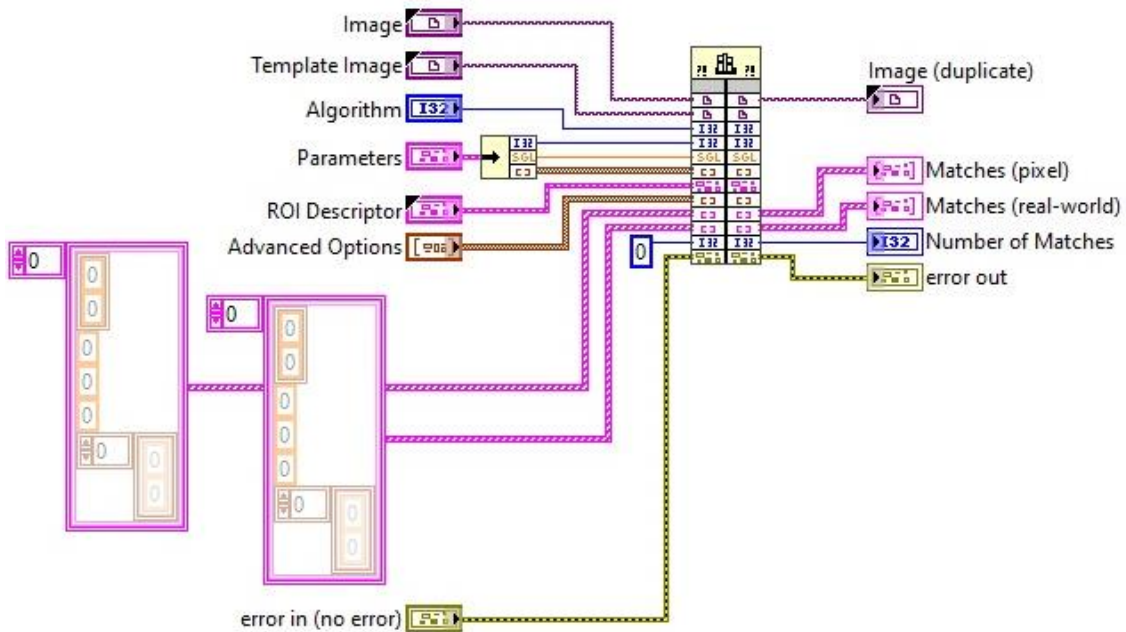


Figure 5. NI_Vision_Development_Module: IMAQ Match Pattern 4 Library Block

A high resolution adjustable focal point USB-connected camera and a ring-shaped LED lighting with adjustable light intensity are used in the system. Since the illumination and light intensity of the environment can change, it has been simulated with many photographs taken from a fixed angle in

the dark environment. The working environment, camera, lens and lighting in the test system are shown in Figure 6. The values used for Camera and LED lighting are given in Table 1. The metal piece is also set at a distance of 30 cm from the camera and at a 90-degree position.



Figure 6. Experimental work environment and test system components

Table 1. Camera and LED lighting values

<i>Camera</i>	
Model	ELP-USB4KHDR01
Sensor	SONY IMX 317 (1/2.5")
Resolution	3840 x 2160 p
Power Supply	5V DC 200 mA
Lens	5-50 mm manual varifocal
<i>LED lighting</i>	
Inner Radius	60 mm
Outer Radius	95 mm
LED Type	F3
LED Quantity	144
Brightness	Adjustable

In NI Vision for pattern matching technique, numerical values are used in Table 2 for the low discrepancy Sampling model and in Table 3 for the pyramid matching model.

Table 2. Low discrepancy sampling parameter values

<i>Matching Parameters</i>	
Minimum Contrast	10
Search Strategy	Balanced
Initial Match List Length	300
Match List Reduction Factor	3
Initial Step Size	5
Intermediate Angular Accuracy	2
<i>Subpixel Parameters</i>	
Enable Subpixel Accuracy	True
Subpixel Iterations	20
Subpixel Tolerance	0

Table 3. Pyramid parameter values

<i>Matching Parameters</i>	
Maximum Pyramid Value	3
Minimum Contrast	10
Initial Match List Length	300
Match List Reduction Factor	0
Intermediate Angular Accuracy	6
Process Border Matches	True
<i>Overlap Parameters</i>	
Minimum Match Separation Distance	20
Minimum Match Separation Angle	10
Maximum Match Overlap	20
<i>Subpixel Parameters</i>	
Enable Subpixel Accuracy	True
Subpixel Iterations	20
Subpixel Tolerance	0

Figure 7-a gives the image of a machined metal part. The branded logo template image in Figure 7-b was searched for in this image. The logo image was manually trained in NI LabVIEW Vision, and the template image was obtained.

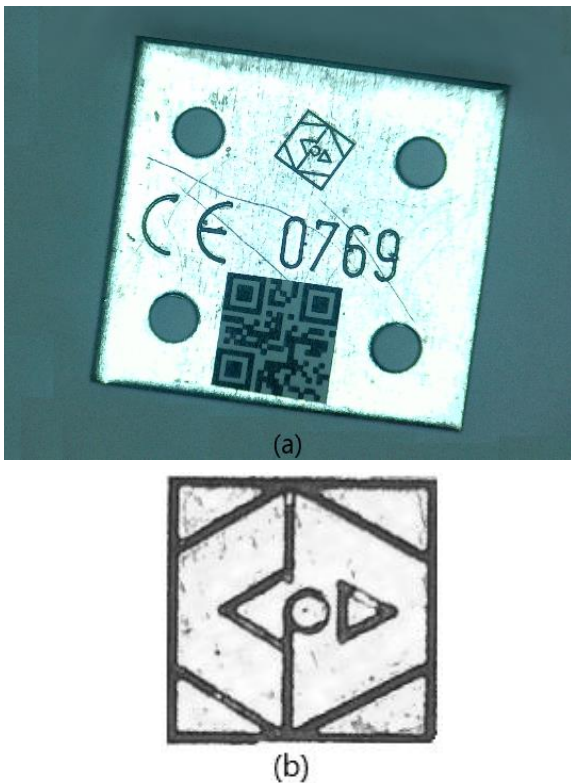


Figure 7. Machined metal part (a) original image (b) template image

4. Results and discussion

Finding the template image was made using the gray and gradient methods in the low discrepancy sampling and pyramid matching model. These matching models were compared over 100 different machined metal part images in terms of

Table 4. Pattern matching performance values

	Iterations	Total Time	Average	Std-Dev	Shortest	Longest
Low discrepancy sampling	100	9860.112 ms	98.601 ms	4.069 ms	91.944 ms	114.498 ms
Gray value method	100	78558.551 ms	785.586 ms	13.490 ms	761.826 ms	809.278 ms
Gradient method	100	33558.950 ms	335.589 ms	6.174 ms	326.115 ms	372.395 ms

The low discrepancy sampling algorithm uses different NI LabVIEW parameters, and other parameters are also affected depending on the selection of these parameters. In this method, by using the parameter values within the ranges with a performance ratio of 100%, the effect of the value changes of the "minimum contrast" parameter on the average time has been investigated. By changing the "minimum contrast" and "initial step size" parameters, the average time spent in that process was calculated in the tests performed with a large number of values, and these values were inserted into the Artificial Neural Network (ANN).

While there is "initial step size" and "minimum contrast" in our network's input layer, there is an

time and accuracy percentage, and the average time value was calculated. Finding the template image in the rotated original image in all three models is shown in Figure 8.

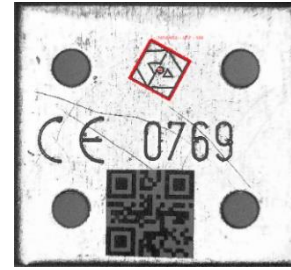


Figure 8. Capturing the template image

The average response time in the results obtained; was 98.6 ms for low discrepancy sampling, 785.6 ms for the gray value method, and 335.6 ms for the gradient method. Thus, low discrepancy sampling gave better results than pyramid matching. When the methods in pyramid matching were compared, it was observed that the gradient method gave a better result compared to the gray value method. The pattern matching algorithm using the normalized cross-correlation function as a mathematical model is discussed in this study. A machined piece of metal is used for pattern matching applications. Finding the logo image in the image of a machined metal part was compared with the pattern matching models in NI Vision in terms of time, and the performance values are given in Table 4.

average value of the processing time at the output. There are 20 neurons in the network structure's hidden layer and one neuron in the output layer. As the activation function, the sigmoid function is used in the hidden and softmax function in the output layer. Levenberg-Marquardt was used as the training algorithm. Seventy percent of the data were used for training, 15 percent for verification, and 15 percent for testing (Table 5).

Table 5. Proposed method R and MSE values

	Percent	MSE	R
Training	70%	0,26197	0,999611
Validation	15%	7,67938	0,996131
Testing	15%	1,52860	0,988176

The Levenberg-Marquardt algorithm is designed to approach quadratic training speed without having to calculate the Hessian matrix. When the performance function has the form of a sum of squares, the Hessian matrix can be predicted and the gradient can be defined as (Parmar et al., 2017):

$$H = J_k^T J_k \tag{8}$$

$$g = J_k^T e \tag{9}$$

Here, J_k^T , is the Jacobian matrix for kth input containing first order derivatives of network errors according to weights and biases, and e , is a vector of network errors. The Jacobian matrix can be calculated using a standard backpropagation

technique, which is much less complicated than computing the Hessian matrix (Parmar et al., 2017):

$$W_{k+1} = W_k - [J_k^T J_k + \mu I]^{-1} J_k^T e_k \tag{10}$$

Here, I is the identity matrix, W_k is the current weight, W_{k+1} is the next weight, e_k the additional final total error and μ is the combination coefficient.

The average processing time was found by ANN taking advantage of two critical parameters. Also, the optimal minimum contrast parameter value has been obtained by taking the smallest of these values. It is seen in Figure 9.

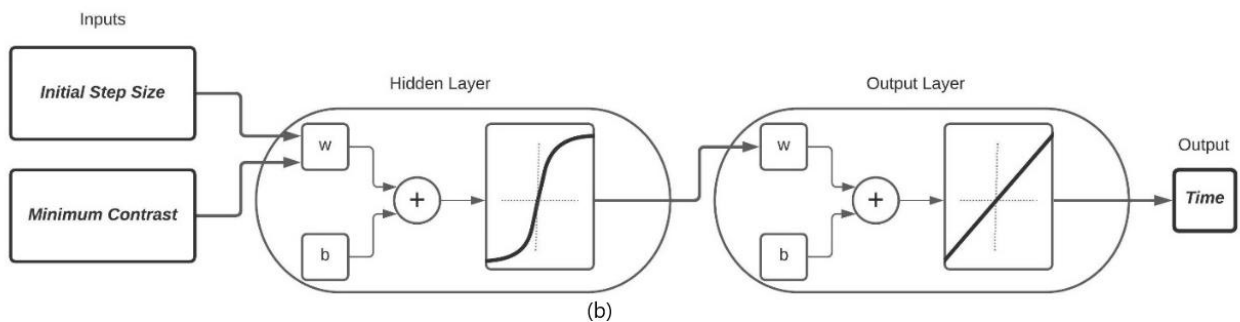
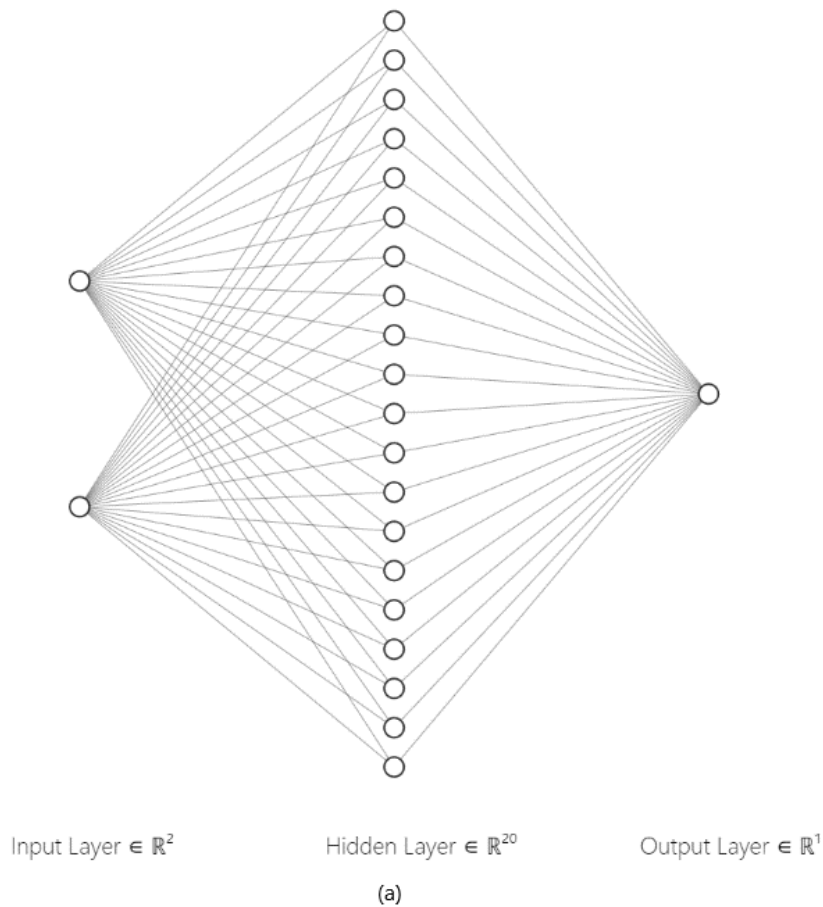


Figure 9. The optimal minimum contrast parameter value determined by ANN (a) ANN structure (b) ANN flow diagram

Mean Square Error (MSE) was found as a performance criterion, and R-value for correlation was found. It is seen in Figure 10. The results show that the proposed ANN-based optimal parameter tuning algorithm provides 99,776% accuracy with a pattern-matching algorithm.

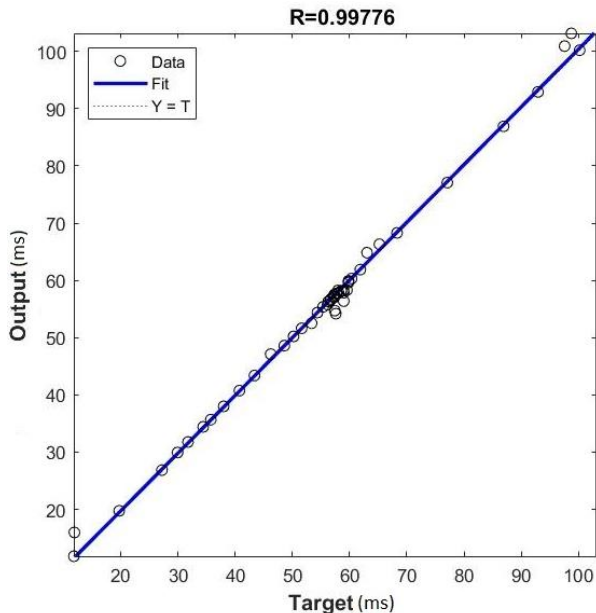


Figure 10. Correlation graphic

5. Conclusion

In this study, the comparison of three algorithms included in pattern matching in terms of time was made using LabVIEW image control tools. The results showed that the low discrepancy algorithm provided better performance than pyramid matching. Simultaneously, the gradient value method in Pyramid Matching gives better results than the gray value method. Although these methods differ in time, they are similar in finding the template image as a percentage. In addition, one of the most critical parameters in the low discrepancy sampling algorithm that gives good results in terms of time, the "minimum contrast" parameter is discussed. The optimization of this parameter is done by using the Levenberg-Marquardt training algorithm in ANN. Through the method used, pattern matching is fast and effective. Thus, unlike the simulations, a real-time system was designed in this study using both hardware and software. It was also seen that the proposed method gives more stable results for real-time applications by determining the most effective parameters of low discrepancy sampling with ANN.

References

- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2008). *Digital Image Processing (4th ed.)*. United States of America: Pearson Prentice Hall
- Hengdi, W., Yang, Z., Sier, D., Erdong, S. and Yong, W. (2011). Bearing characters recognition system based on LabVIEW. *International Conference on Consumer Electronics, Communications, and Networks (CECNet)* (pp. 118-122). XianNing. <https://doi.org/10.3390/machines9020040>
- Hryniewicz, P., Banaś, W., Gwiazda, A., Foit, K., Sękala, A. and Kost, G. (2015). Technological process supervising using vision systems cooperating with the LabVIEW vision builder. *Modern Technologies in Industrial Engineering* (pp. 1-6). Mamaia.
- Jing, N., Guo, N. and Xiong, W. (2016). An efficient tile-pyramids building method for fast visualization of massive geospatial raster datasets. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 16(4). 3-8.
- Kalina, D. and Golovanov, R. (2019). Application of template matching for optical character recognition. *IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)* (pp. 2213-2217). Moscow. <https://doi.org/10.1109/EIConRus.2019.8657297>
- Kamtongdee, C., Sumriddetchkajorn, S. and Sangiamsak, C. (2013). Feasibility study of silkworm pupa sex identification with pattern matching. *Computers and Electronics in Agriculture*, 95, 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.04.002>.
- Koniar, D., Hargas, L., Simonova, A., Hrianka, M. and Loncova, Z. (2014). Virtual instrumentation for visual inspection in mechatronic applications. *Procedia Engineering*, 96, 227-234. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.148>.
- National Instruments. (2005). *NI Vision Concepts Manual*, National Instruments Corporate Headquarters (2000 ed.). USA: National Instruments Corporation.
- National Instruments. (2018). *NI Vision Builder for Automated Inspection Tutorial*, National Instruments Corporate Headquarters (2018 ed.). USA; National Instruments Corporation.
- Panoiu, M., Rat, C. L. and Panoiu, C. (2015). Study on road sign recognition in LabVIEW. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (pp. 1-10). Wuhan.

- Parmar, R., Shah, M. and Shah, M. G. (2017). A Comparative study on Different ANN Techniques in Wind Speed Forecasting for Generation of Electricity. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, 12 (1). 19-26.
- Patil, V. and Ingle, D. R. (2020). An association between fingerprint patterns with blood group and lifestyle-based diseases: a review. *Artificial Intelligence Review*, 1-37. <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09891-w>
- Plötzeneder, B. (2010). *Praxiseinstieg LabVIEW (1st ed.)*. Germany: Franzis Verlag GmbH.
- Rouget, P., Badrignans, B., Benoit, P. and Torres, L. (2018). FPGA implementation of pattern matching for industrial control systems. *IEEE International Parallel, and Distributed Processing Symposium Workshops* (pp. 210-213). Canada.
- Zhou, B., Hu, W., Brown, K. and Chen, T., D. R. (2020). Generalized pattern matching of industrial alarm flood sequences via word processing and sequence alignment. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. <https://doi.org/10.1109/TIE.2020.3026287>

Kalın ve katmanlı kompozit plakaların temel doğal frekansının mekanik özelliklerin küçük değişimlerine duyarlılığı

Sensitivity of fundamental natural frequency of thick and laminated composite plates in small changes of mechanical properties

Murat KARA*1,a

¹Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 14000, Bolu

• Geliş tarihi / Received: 24.07.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 12.02.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 22.03.2021

Öz

Kompozit plakaların istenilen özelliklere göre tasarımı genellikle deneme yanılma ile yapılmaktadır. Bu durum elde edilen nihai tasarım sürecini uzatmaktadır. Dolayısıyla tasarım sırasında istenilen tasarım amaç fonksiyonu üzerinde etkili tasarım parametrelerin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu bağlamda duyarlılık analizi sıklıkla kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu çalışmada farklı kalınlıklardaki kalın katmanlı kompozit plakaların temel (birinci) doğal frekansının duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Fiber ve fibere dik yöndeki elastisite modülü ve üç yöndeki kayma modülleri tasarım parametreleri olarak seçilmiştir. Ardından sonlu elemanlar tabanlı Monte Carlo simülasyonu ile tasarım parametrelerinin kombinasyonuna karşılık gelen doğal frekanslar hesaplanmıştır. Daha sonra duyarlılık analizi gerçekleştirmek amacıyla matematiksel bir model oluşturulmuştur. Sonuçta kalınlığa bağlı olarak temel doğal frekansın duyarlılığı elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Doğal frekans, Duyarlılık analizi, Kalın kompozit plaka, Serbest titreşim

Abstract

The design of composite plates according to the desired properties is usually performed by trial and error. This prolongs the final design process. Therefore, it is very important to determine the effective design parameters on the desired design objective function in design processes. In this regard, sensitivity analysis is one of the frequently used methods. In this study, the sensitivity analysis of the fundamental (first) natural frequency of thick layered composite plates with different thicknesses was performed. The elasticity modulus perpendicular to the fibre and among the fibre and the shear modules in the three directions are selected as design parameters. Then, natural frequencies corresponding to the combination of design parameters were calculated with finite element based Monte Carlo simulation. Next, a mathematical model was constructed to perform. As a result, the sensitivity of the fundamental natural frequency was obtained depending on the thickness.

Keywords: Natural frequency, Sensitivity analysis, Thick composite plate, Free vibration

*a Murat KARA; kara.murat@ibu.edu.tr, Tel: (0374) 254 10 00 (4935), orcid.org/0000-0001-5798-9014

1. Giriş

Kontrol edilemeyen küçük değişkenlikler olarak tanımlanan belirsizlik, vibro-akustik uygulamalarda oldukça sık olarak karşılaşılan bir fenomendir (Kompella ve Bernhard, 1993). Titreşim problemlerinde belirsizlik genellikle ilk şartlar ve sınır koşullarındaki değişkenliklerden, geometrideki farklılıklardan veya çevresel faktörlerden kaynaklanmaktadır. Belirsizlikler yapıların serbest ve zorlanmış titreşim cevaplarını büyük oranda değiştirdiğinden tasarım aşamasında küçük değişikliklerin titreşim cevapları üzerindeki etkisinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu gibi durumlarda duyarlılık (hassasiyet) analizi sık olarak kullanılmaktadır (Fox ve Kapoor, 1968; Arora ve Haugt, 1979; Adelman ve Haftka, 1986; Kengtung, 1986; Grenestedt, 1989; Hyer ve Lee, 1991; Mateus vd., 1991; Soares vd., 1995). Literatürde serbest titreşim cevabının duyarlılık analizi konusundaki en erken çalışmalardan biri Fox ve Kapoor (1968) tarafından gerçekleştirilmiştir. Fox ve Kapoor temel (birinci) doğal frekansı maksimum, sistem kütlesini ise minimum olarak elde etmek için gerekli geometrik büyüklükleri duyarlılık analizi ile elde etmişlerdir.

Kompozit yapılar günümüzde köprülerde, havacılık sektöründe oldukça sık olarak kullanıldığından bu yapıların analizi oldukça önemlidir. Kompozit malzemelerde yukarıda belirtilen belirsizlik sebeplerine malzeme özelliklerindeki değişkenlikler ya da delaminasyonlar eklenmektedir. Kompozit yapılar üzerine yapılan araştırmaların yaygınlaştığı 1980'lerden itibaren kompozit yapıların duyarlılık analizi en iyileştirilmiş (optimal) tasarım parametrelerin elde edilmesinde kullanılan yöntemlerden biridir. Bir çalışmada doğal frekansları en iyileştirmek amacıyla ince kompozit plakalardaki açısız oryantasyon ve katman kalınlığı parametrelerini duyarlılık analizi ile belirlemişlerdir (Mateus vd., 1991; Soares vd., 1995). Zak vd., (2003) çok katmanlı kompozit plakalardaki malzeme ve fiziksel özelliklerdeki küçük değişimlerin temel doğal frekans üzerindeki etkisini duyarlılık analizi ile elde etmişlerdir. Sonuç olarak geometrik küçük değişikliklerin mekanik özelliklerdeki değişimlere göre daha etkili olduğu gösterilmiştir. Lima vd., (2010) ve Lee vd., (2013) duyarlılık analizini sandviç kompozit plakalardaki serbest ve zorlanmış titreşim cevapları için uygulamışlardır. Dey vd., (2015) ise kalın kompozit plakalarda duyarlılık analizi gerçekleştirmek amacıyla üretken rastgele örnekleme yüksek boyutlu model yaklaşımı

(generic random sampling-high dimensional model approach) geliştirmişlerdir. Bu çalışmada elastisite, açısız oryantasyon ve yoğunluktaki küçük değişimlerin ilk üç doğal frekans üzerindeki etkisi incelenmiştir. Son zamanlarda duyarlılık analizi kompozit plakalarda delemantasyon hatasının belirlenmesi (Zhang vd., 2017; Juhász vd., 2018) ve karbon nanotüplerle güçlendirilmiş kompozit plakalar (Pouresmaeli ve Fazelzadeh, 2017; Pouresmaeli vd., 2018) için uygulanmaktadır.

Bilindiği üzere kompozit plakaların kalınlığı arttıkça kayma deformasyonları göz önüne alınmalıdır. Bu bağlamda yapıların analizlerini gerçekleştirilirken sistemin kalınlığının inceden kalına doğru artmasıyla birlikte kullanılan matematiksel model daha karmaşık hale gelmektedir. Bu durumlarda literatürde ince plaka teorisi, birinci, ikinci ve üçüncü derece kayma deformasyon teorileri kullanılmaktadır. Bu çalışmada kalın plakalardaki temel doğal frekansın mekanik özelliklerdeki değişimlere karşı duyarlılığı incelenmiştir. Bu bağlamda dört farklı kalınlıkta kompozit plaka incelenmiştir. Tasarım parametreleri olarak kalın plakanın katmanlarının elastisite modülü (E_1 ve E_2) ve kayma modülleri (G_{12}, G_{23} ve G_{13}) seçilmiştir. Her bir tasarım parametresi üç adet örneklenmiş ve tasarım parametrelerinin kombinasyonuna (toplamda 3^5 örneklem) karşılık gelen temel doğal frekanslar hesaplanmıştır. Daha sonra elde edilen doğal frekanslar için bir matematiksel fonksiyon oluşturularak duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve metot

2.1. Malzeme

Bu çalışmada dört farklı kalınlığa sahip basit mesnetli simetrik özel ortotropik katmanlı kompozit plakanın ($0^0, 90^0, 90^0, 0^0$) temel doğal frekansının duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık analizinde tasarım parametreleri olarak iki yöndeki elastisite modülleri (E_1 ve E_2) ve üç yöndeki kayma modülleri (G_{12}, G_{23} ve G_{13}) seçilmiştir. Bu tasarım parametreleri üç farklı değer ($n \times [0.95 \ 1 \ 1.05]$), n : tasarım parametresinin ortalama değeri ile örneklenmiştir. İncelenen kompozit plakanın mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Çalışmada plakanın dört farklı kalınlık ($h = \{10, 12.5, 20, 25\}$ cm) durumu incelenmiştir.

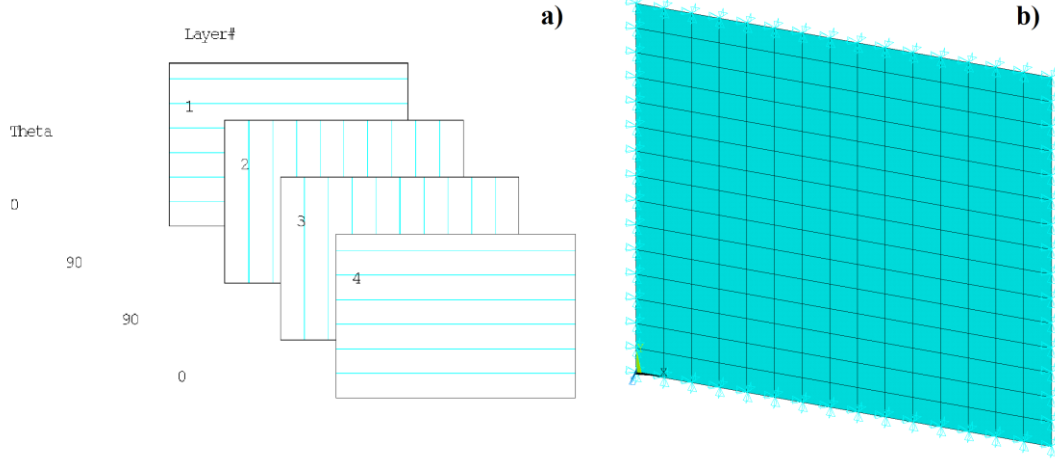
Tablo 1. Kompozit plakanın mekanik ve fiziksel özellikleri

Özellik (Sembol)	Değer
Plakanın uzunlukları ($l_x \times l_y$)	1 x 1 m
Fiber yönündeki elastisite modülü (E_1)	40 MPa
Fibere dik yöndeki elastisite modülü (E_2)	1 MPa
Poisson oranları ($\nu_{12}, \nu_{13}, \nu_{23}$)	0.25, 0.25, 0
Kayma modülleri (G_{12}, G_{13}, G_{23})	0.6, 0.6, 0.6 MPa
Yoğunluk (ρ)	2100 kg/m ³

2.2. Metod

Literatürde kompozit plakaların uzunluk ve kalınlık oranı yeterince büyük olduğunda ($l_x/h > 50$) ince plaka teorisinin kullanılabileceği belirtilmiştir (Whitney, 1987). Bu oranın küçük olduğu durumlarda ise kayma deformasyon teorileri kullanılmaktadır. Bu çalışmada incelenen kompozit plakaların uzunluk kalınlık oranı göz

önüne alınırsa kayma deformasyon teorilerinin kullanılması gerektiği açıktır. Temel doğal frekanslar Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) ile analizler gerçekleştiren ANSYS 19.1 APDL programı ile hesaplanmıştır. Eleman tipi olarak kalın kompozit plakaları modelleyebilen ve teorik olarak Mindlin-Reissner kabuk teorisini kullanan Shell 181 elemanı kullanılmıştır. Kurulan sonlu elemanlar modeli Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. (a) Kompozit plakanın açısız oryantasyonu (b) Kompozit plakanın sonlu elemanlar modeli

Tasarım amaç fonksiyonu olarak seçilen temel doğal frekansın duyarlı olduğu parametreleri belirlemek için tasarım parametrelerine bağlı aşağıdaki gibi üstel bir matematiksel fonksiyon oluşturulmuştur:

$$f = a_1 E_1^{a_2} E_2^{a_3} G_{12}^{a_4} G_{13}^{a_5} G_{23}^{a_6} \quad (1)$$

Burada, f Hz cinsinden temel doğal frekans, $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ ise bilinmeyen katsayılarıdır. Denklem (1)’de her iki tarafın doğal logaritması alınırsa aşağıdaki regresyon analizi formu elde edilir:

$$\ln(f) = \ln(a_1) + a_2 \ln(E_1) + a_3 \ln(E_2) + a_4 \ln(G_{12}) + a_5 \ln(G_{13}) + a_6 \ln(G_{23}) \quad (2)$$

Denklem Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı. ’deki bilinmeyen katsayıların elde edilmesi için tasarım parametrelerine karşılık gelen temel doğal frekanslar hesaplanmalıdır. Bu amaçla Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır. Beş tasarım parametresi için üçer adet örneklem kullanıldığından $3^5=243$ defa analiz yapılarak temel doğal frekanslar elde edilmiştir. Çalışmada plakanın dört farklı kalınlık ($h=\{10, 12.5, 20, 25\}$

cm) durumu incelendiğinden Monte Carlo simülasyonu her bir kalınlık durumu için tekrarlanmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Doğrulama çalışması

Kurulan sonlu elemanlar modelini doğrulamak amacıyla mekanik özellikleri Tablo 1’de verilen 0.2 m kalınlığındaki kompozit plakanın hesaplanan boyutsuz doğal frekansı $\bar{\omega} = (2\pi f_x^2 / h) \sqrt{\rho / E_2}$ ile hesaplanarak literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda incelenen

kompozit plakanın hesaplanan doğal frekansları (Hz) ve bunlara karşılık gelen boyutsuz doğal frekanslar Tablo 2’de sunulmuştur. Sonlu elemanlar modelinde (SEM) plaka 10x10, 15x15 ve 20x20 adet eleman ile modellenerek sonuçların yakınsaklığı Tablo 2’de % hata değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Kompozit plakanın boyutsuz temel doğal frekansı ($\bar{\omega} = (2\pi f_x^2 / h) \sqrt{\rho / E_2}$)

	Khdeir ve Librescu (1988)	SEM (% Hata)		
		10x10	15x15	20x20
f		7.6275	7.5954	7.5839
$\bar{\omega}$	10.854	10.981 (% 1.17)	10.935 (% 0.75)	10.918 (% 0.59)

Tablo 2’de görüldüğü üzere sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen doğal frekanslar literatürdeki sonuçlar ile oldukça uyumludur. Bunun yanında, farklı eleman sayılarında % hata değerleri incelendiğinde hesaplama sürelerini azaltmak amacıyla % 1 hata eşik değeri olarak kabul edilmiştir. Buna göre kompozit plaka, bundan sonraki analizlerde belirtilen hatanın altında sonuç veren en düşük eleman sayısı olan 15x15 eleman sayısı ile modellenmiştir.

3.2. Duyarlılık analizi sonuçları

Monte Carlo simülasyonu parametrik çalışmalarda oldukça sık olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu simülasyonda değişken parametreler uygun dağılımlar ile modellenir ve oluşturulan örneklemelerin tüm kombinasyonlarını kapsayacak

şekilde girdi parametreleri sayısal analiz yöntemine beslenir. Sonuç olarak istenilen cevap parametresi (deplasman, hız, gerilme, doğal frekans vs.) girdi parametrelerine karşılık olarak hesaplanır. Bu yöntemde girdi parametrelerinin uygun bir şekilde modellenmesi için çok sayıda örneklem gerektirebilir. Bu nedenle hesaplama süreleri oldukça uzun olabilir.

Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilen Monte Carlo simülasyonu sonuçlarına çok eğrili regresyon analizi (multiple curvilinear regression analysis) uygulanarak Denklem **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**’deki bilinmeyen katsayılar her bir kalınlık için ayrı ayrı elde edilmiştir. Elde edilen katsayılar Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 3. Hesaplanan regresyon katsayıları

Katsayılar	$h=0.1\text{ m}$	$h=0.125\text{ m}$	$h=0.2\text{ m}$	$h=0.25\text{ m}$
a_1	279.0495	272.3468	265.4062	177.2606
a_2	0.0194	0.0185	0.0177	0.0197
a_3	0.0162	0.0153	0.0146	0.0137
a_4	0.1026	0.1059	0.1090	0.1309
a_5	0.0564	0.0581	0.0598	0.0748
a_6	-0.5000	-0.5000	-0.5000	-0.5000

Elde edilen matematiksel modelin doğruluğunu test etmek amacıyla, R^2 , ayarlanmış R^2 ve karekök ortalamalı hata değeri (RMSE) değerleri hesaplanarak Tablo 4’te sunulmuştur. Bu

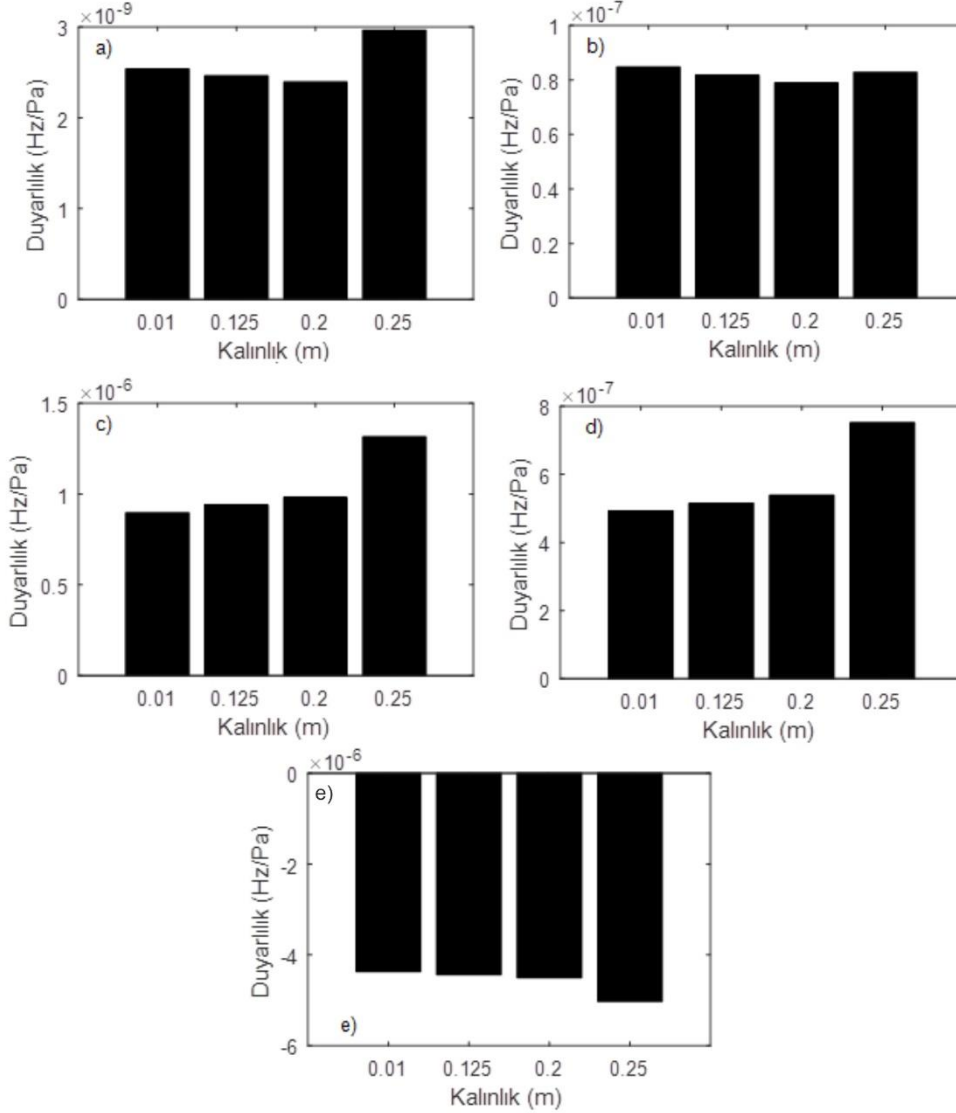
değerlerden R^2 ve ayarlanmış R^2 bir değerine, RMSE’nin ise sifıra yakın olması iyi bir eğri geçirme işleminin gerçekleştirildiğini gösterir.

Tablo 4. Hesaplanan R^2 , ayarlanmış R^2 ve karekök ortalamalı hata değeri (RMSE) değerleri

İstatistiksel büyüklük	$h=0.1\text{ m}$	$h=0.125\text{ m}$	$h=0.2\text{ m}$	$h=0.25\text{ m}$
R^2	1.000	1.000	1.000	1.000
Ayarlanmış R^2	1.000	1.000	1.000	1.000
RMSE	8.7E-08	9.4E-08	9.8E-08	1.6E-07

Tablo 4'te görüldüğü hesaplanan istatistiksel büyüklükler elde edilen matematiksel fonksiyon ile gerçek verilerin birbirleriyle uyumlu olduğunu göstermektedir.

Son olarak temel doğal frekansın tasarım parametrelerindeki küçük değişimlere karşı



Şekil 2. Kompozit plakanın temel doğal frekansının tasarım parametrelerine göre duyarlılığı (a) tasarım parametresi: E_1 (b) tasarım parametresi: E_2 (c) tasarım parametresi: G_{12} (d) tasarım parametresi: G_{23} (e) tasarım parametresi: G_{13}

Şekil 2'e göre aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. 13 yönündeki kayma modülündeki küçük artırımlar doğal frekansı düşürürken (negatif duyarlılık) diğer durumlarda temel doğal frekans artırma eğilimindedir.

2. Kayma gerilmelerindeki duyarlılık değerleri plaka kalınlığı arttıkça sürekli olarak artma (Şekil

duyarlılığı farklı kalınlıktaki kompozit plakalar için matematiksel modelin ilgili parametreye göre kısmi türevinin alınmasıyla hesaplanmıştır. Mekanik özellikleri Tablo 1'de sunulan farklı kalınlıklardaki kompozit plakanın tasarım parametrelerine göre duyarlılıkları Şekil 2'de sunulmuştur.

2c ve 2d) ya da azalma (Şekil 2e) gösterirken elastisite modüllerinde duyarlılık değerinde sürekli bir düzen görülmemiştir.

3. Fibere dik yöndeki elastisite modülündeki küçük artırımlar, fiber yönündeki elastisite modüllerine göre temel doğal frekansı daha çok büyütmektedir yani daha büyük duyarlılık değerlerine sahiptir. Bu durum elastisite modüllerindeki düşük olan değerlerin artmasıyla

birlikte plakanın direngenliğinin artmasıyla açıklanabilir.

4. İncelenen tasarım parametrelerinin duyarlılık genlikleri büyükten küçüğe doğru 13 yönündeki kayma gerilmesi, 12 yönündeki kayma gerilmesi, 23 yönündeki kayma gerilmesi, fibere dik yöndeki elastisite modülü ve fiber yönündeki elastisite modülü olarak sıralanabilir. Buna göre temel doğal frekansın artırılması için temel olarak 13 yönündeki kayma gerilmesinin büyük olacağı bir plaka tasarımı yapılmalıdır.

5. Ayrıca bilindiği üzere genellikle kompozit plakaların doğal frekans analizleri sonucunda elde edilen deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçlar arasında genellikle farklılıklar meydana gelmektedir. Bu durum mekanik özelliklerin doğru olarak belirlenememesi ile açıklanmakta fakat hangi parametrenin doğru olarak elde edilemediği belirtilmemektedir. Burada görüldüğü üzere, mekanik özellikler elde edilirken özellikle kayma modüllerinin doğru bir şekilde edilmesi son derece önemlidir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada dört farklı kalınlığa sahip basit mesnetli simetrik özel ortotropik katmanlı kompozit plakanın $(0^0, 90^0, 90^0, 0^0)$ temel doğal frekansının duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Tasarım parametreleri olarak fiber yönündeki ve fibere dik yöndeki elastisite modülleri ve üç yöndeki kayma modülleri seçilmiştir. temel doğal frekansın duyarlılığının belirlenmesi için Monte Carlo simülasyonu sonuçlarına çok eğrili regresyon analizi (multiple curvilinear regression analysis) uygulanmıştır. Sonuç olarak kayma modüllerindeki küçük değişimlerin elastisite modüllerine göre temel doğal frekansı daha çok olarak etkilediği görülmüştür. Ayrıca 23 yönündeki kayma gerilmesindeki küçük artırımların doğal frekansı küçülttüğü diğer parametrelerdeki artırımların ise temel doğal frekansı artırdığı gözlemlenmiştir.

Kaynaklar

Adelman, H. M. and Haftka, R. T. (1986). Sensitivity analysis of discrete structural systems. *AIAA Journal*, 24(5), 823–832. <https://doi.org/10.2514/3.48671>.

Arora, J. S. and Haugt, E. J. (1979). Methods of design sensitivity analysis in structural optimization. *AIAA Journal*, 17(9), 970–974. <https://doi.org/10.2514/3.61260>.

Dey, S., Mukhopadhyay, T. and Adhikari, S. (2015). Stochastic free vibration analysis of angle-ply composite plates - A RS-HDMR approach. *Composite Structures*, 122, 526–536. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.09.057>.

Fox, R. L. and Kapoor, M. P. (1968). Rates of change of eigenvalues and eigenvectors. *AIAA Journal*, 6(12), 2426–2429. <https://doi.org/10.2514/3.5008>.

Grenestedt, J. L. (1989). Layup optimization and sensitivity analysis of the fundamental eigenfrequency of composite plates. *Composite Structures*, 12(3), 193–209. [https://doi.org/10.1016/0263-8223\(89\)90022-6](https://doi.org/10.1016/0263-8223(89)90022-6).

Hyer, M. W. and Lee, H. H. (1991). The use of curvilinear fiber format to improve buckling resistance of composite plates with central circular holes. *Composite Structures*, 18(3), 239–261. [https://doi.org/10.1016/0263-8223\(91\)90035-W](https://doi.org/10.1016/0263-8223(91)90035-W).

Juhász, Z., Turcsán, T., Tóth, T. B. and Szekrényes, A. (2018). Sensitivity analysis for frequency based prediction of crack size in composite plates with through-the-width delamination. *International Journal of Damage Mechanics*, 27(6), 859–876. <https://doi.org/10.1177/1056789517709893>.

Kengtung, C. (1986). Sensitivity analysis and a mixed approach to the optimization of symmetric layered composite plates. *Engineering Optimization*, 9(4), 233–247. <https://doi.org/10.1080/03052158608902516>.

Khdeir, A. A. and Librescu, L. (1988). Analysis of symmetric cross-ply laminated elastic plates using a higher-order theory: Part II-Buckling and free vibration. *Composite Structures*, 9(4), 259–277. [https://doi.org/10.1016/0263-8223\(88\)90048-7](https://doi.org/10.1016/0263-8223(88)90048-7).

Kompella, M. S. and Bernhard, R. J. (1993). Measurement of the statistical variation of structural-acoustic characteristics of automotive vehicles. *SAE Technical Paper 931272*. <https://doi.org/10.4271/931272>.

Li, D. H., Liu, Y. and Zhang, X. (2013). Linear statics and free vibration sensitivity analysis of the composite sandwich plates based on a layerwise/solid-element method. *Composite Structures*, 106, 175–200. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2013.05.056>.

Lima, A. M. G. d., Faria, A. W. and Rade, D. A. (2010). Sensitivity analysis of frequency response functions of composite sandwich plates containing viscoelastic layers. *Composite Structures*, 92(2), 364–376.

- <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.08.017>.
- Mateus, H. C., Soares, C. M. M. and Soares, C. A. M. (1991). Sensitivity analysis and optimal design of thin laminated composite structures. *Computers and Structures*, 41(3), 501–508. [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(91\)90144-B](https://doi.org/10.1016/0045-7949(91)90144-B).
- Pouresmaeeli, S., Fazelzadeh, S. A., Ghavanloo, E. and Marzocca, P. (2018). Uncertainty propagation in vibrational characteristics of functionally graded carbon nanotube-reinforced composite shell panels. *International Journal of Mechanical Sciences*, 149, 549–558. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2017.05.049>.
- Pouresmaeeli, S. and Fazelzadeh, S. A. (2017). Uncertain buckling and sensitivity analysis of functionally graded carbon nanotube-reinforced composite beam. *International Journal of Applied Mechanics*, 9(5). <https://doi.org/10.1142/S1758825117500715>.
- Soares, C. M. M., Correia, V. F., Mateus, H. and Herskovits, J. (1995). A discrete model for the optimal design of thin composite plate-shell type structures using a two-level approach. *Composite Structures*, 30(2), 147–157. [https://doi.org/10.1016/0263-8223\(94\)00042-5](https://doi.org/10.1016/0263-8223(94)00042-5).
- Whitney, J. M. (1987). *Structural analysis of laminated anisotropic plates*. Pennsylvania: Technomic Publishing.
- Zak, A. J., Cartmell, M. P. and Ostachowicz, W. M. (2003). A sensitivity analysis of the dynamic performance of a composite plate with shape memory alloy wires. *Composite Structures*, 60(2), 145–157. [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(02\)00316-1](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(02)00316-1).
- Zhang, Z., Zhan, C., Shankar, K., Morozov, E. V., Singh, H. K. and Ray, T. (2017). Sensitivity analysis of inverse algorithms for damage detection in composites. *Composite Structures*, 176, 844–859. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.06.019>.

Hastane kapasitesini aşmayacak şekilde Covid-19 yayılımının geri adımlamalı kontrolü

Back-stepping control of Covid-19 spread not to exceed hospital capacity

Hacı Mehmet GÜZEY*^{1,a}

¹Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 25050, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 15.06.2020 • Düzeltiletilerek geliş tarihi / Received in revised form: 06.03.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 22.03.2021

Öz

COVID-19 salgınının, İtalya örneğine dayanan sosyal uzaklaştırma önlemleri ile geri adımlamalı kontrol metodu kullanılarak hastanede yatması gereken hasta sayısının, mevcut yatak kapasitesini geçmeyecek şekilde kontrolü ele alınmıştır. Sosyal mesafe önlemleri, sokağa çıkma yasağı gibi önlemler ile devletler ve yerel idareler salgının yayılmasını önlemek istemektedir. Salgının tamamen yayılmasını önlemek ancak mutlak bir tecrit ile olabilecekken, bu çözüm sosyal hayatın ve ekonominin aşırı derecede olumsuz etkilenmesine sebep verecektir. Bu nedenle, her bir ülke/şehir, en azından kendi yatak kapasitesini aşmayacak şekilde salgını kontrol altına almak isteyecektir. Bu makaledeki bulgular, şehir yöneticilerine veyahut genel idarecilere, salgını yönetmek için referans teşkil edecektir. İnsanların salgınla olan alakasına göre, bu makalede toplum sekiz bölüme ayrılmıştır. Bunlarda bir grup ise tedavisi zaruri olmuş guruptur. Geri adımlamalı denetleyici vasıtasıyla, hastaneye yatması gereken hasta sayısının, mevcut yatak kapasitesinden az değerlerde tutulduğu ispatlanmıştır. Benzetim sonuçları da iddia edilen kontrolcünün sorunsuz çalıştığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Covid-19, Geri adımlamalı kontrol, Yayılım kontrolü

Abstract

In this paper, controlling the number of patients who are required to stay in hospitals due to covid-19 through back-stepping controller is considered by using data from Italy. States and local administrations want to prevent the spread of the outbreak, with measures such as social distance measures, curfews. Even though the absolute control of the pandemic can be reached through absolute isolation, this solution will cause excessive negative effects on social life and economy. Therefore, each country/city would like to control the outbreak, at least not exceeding its bed capacity. The results of this article has potential of serving as a reference for city administrators or general administrators to manage the outbreak. Based on the current health condition of the people due to the epidemic, society is divided into eight sections in this article. One of these eight population groups is the ones whose hospital treatment is mandatory. With the back-stepping controller, it is proven that the number of patients who need to be hospitalized can be kept below the current bed capacity. Simulation results also show that the proposed controller is effectively controls the patients those need to be hospitalized.

Keywords: Covid-19, Back-stepping control, Spread control

*^a Hacı Mehmet Güzey; mehmet.guzey@erzurum.edu.tr, Tel: (0546) 6361766, orcid.org/0000-0002-2215-9536

1. Giriş

Salgın yayılımını kontrol etmek için, özellikle virüs ile alakalı çok az bilgi varsa ve henüz aşı mevcut değilse, devletin ve/veya yerel yönetimlerin sosyal mesafeyi koruyucu tedbirler alması gerekir. Sosyal mesafe kuralları, sokağa çıkma yasağı, maske kullanımı ve hijyen gibi tedbirlerin, virüsün yayılımı ciddi şekilde azalttığı daha önceki çalışmalarda gösterilmiştir (Maharaj vd., 2012; Kissler vd., 2020; Majer vd., 2020). Bununla birlikte, sokağa çıkma yasağı gibi katı sosyal mesafe tedbirlerinin doğal olarak ciddi ekonomik ve psikolojik hasarlara yol açtığı da yadsınamaz bir gerçektir. Bu nedenle, İngiltere tarafından başlangıçta tercih edilmiş ve kısa süre sonunda vazgeçilmiş, ağır ölüm ve vaka oranları ile sonuçlanacağı bariz olan sürü bağışıklığı yöntemini kullanmak ne kadar makul değilse, tersi durum olan katı sosyal tecrit de aynı şekilde tercih edilecek bir yol değildir. Bu bağlamda, salgının yayılımının modellenmesi ve bu model üzerinden politika geliştirilerek, salgını kontrol altında tutma ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

COVID-19 salgınının yayılımını modellemek için çok sayıda yaklaşım geliştirilmiştir ve benzetim çalışmaları ile, farklı politikaların yayılımın üzerinde etkileri incelenmiştir. En yaygın olarak kullanılan modelleme yaklaşımı SIR modelidir (Dehning vd., 2020; Barbarossa vd., 2020; German vd., 2020). Bu modelde, toplum üç temel guruba ayrılır: S (hastalığa duyarlı insanlar), I (hastalık bulaşmış olan insanlar), R (Hastalık bulaşmış ve sonrasında tamamen iyileşmiş insanlar). Son günlerde, etkili bir kontrol stratejisi planlamaya yardımcı olmak için salgının gidişatını tahmin eden, SIR modelinden daha detaylı olan SIDARTHE modeli (Giordano vd., 2020)'de geliştirilmiştir. Model, sekiz enfeksiyon aşamalarına göre bireyleri sekiz bölümde inceler: hastalık bulaşmamış bireyler (S), hastalık bulaşmış ve tespit edilmemiş bireyler (I), hastalık belirtisi göstermeyen, hastalık tespit edilmiş bireyler (D), hastalık belirtisi gösterdiği halde tespit edilemeyen bireyler (A), hastalık belirtisi gösterip, tespit edilen bireyler (R), şu anda tedavi gören bireyler (T), hastalık bulaşmış ve sonrasında hastalıktan tamamen kurtulmuş bireyler (H) ve hastalık sonucu

hayatını kaybetmiş bireyler (E). SIDARTHE modeli, hastalık bulaşan bireylerin teşhis edilip edilmediğine ve belirtilerinin şiddetine bağlı olarak ayırım yapar. Teşhis edilen ve teşhis edilmeyen bireyler arasındaki ayırım önemlidir, çünkü ilki toplumdan izole edilir ve dolayısıyla salgını yayma olasılığı daha düşüktür. Bu tanımlama aynı zamanda vaka ölüm oranı ve salgın yayılımının yanlış algısını açıklamaya da yardımcı olur.

Salgınlara matematiksel modellenmesi literatürde çokça çalışılmış bir konudur. Güncel olarak, COVID-19 yayılımına kontrol teorisini uygulamak için çok sayıda yaklaşım olmuştur. (Casella, 2020)'de yazar sistem modelindeki belirsizlikler ve gecikmeler durumunda kontrol algoritması geliştirmiştir. (Bin vd., 2020; Tsay vd., 2020)'da sosyal mesafeyi sağlamak için en uygun bang-bang kontrolcü geliştirmiştir. Bunun yanında, (Lauro vd., 2021) salgın yayılımını engellemeye en uygun kontrol tekniğini kullanmışlardır. (Casella, 2021)'de ise COVID-19 salgınlarının, swab testi sonuçlarına, aktif vakalara ve toplam vakalara ilişkin günlük raporlara dayanarak halk sağlığı önlemleri hakkında kararlar alan yetkililer tarafından kontrol edilip edilemeyeceğini ve ne ölçüde kontrol edilebileceğini araştırmaktadır. Bahsi geçen tüm çalışmalar, Covid-19 salgınının yayılımını kontrol ederken referans olarak hastalık bulaşmış bireyleri dikkate almıştır. Bu makalede ise, daha önceki çalışmalarda (Güzey vd., 2016, 2017, 2019) insansız araçların kontrolü için sıkça kullanılan geri adımlamalı kontrol yaklaşımı kullanılarak, hastanede yatması gereken insan sayısını (T), hastane kapasitesini geçmeyecek şekilde kontrol altında tutacak kontrolcüler geliştirilmiştir. Geri adımlamalı denetleyici kullanılmasının sebebi ise, kontrol parametrelerinin hastanede yatması gereken hastaların (T) dinamik denklemlerinde olmaması ve diğer durumların hayali kontrolcü olarak kullanılması gerektiğidir.

2. Materyal ve yöntem

Bu bölümde, sonraki bölümde tasarlayacağımız kontrol algoritmamız için kullandığımız COVID-19 salgınının modeli verilmektedir (Giordano vd., 2020).

$$\dot{S}(t) = -S(t)(\alpha I(t) + \beta D(t) + \gamma A(t) + \delta R(t)) \quad (1)$$

$$\dot{I}(t) = S(t)(\alpha I(t) + \beta D(t) + \gamma A(t) + \delta R(t)) - (\varepsilon + \zeta + \lambda)I(t) \quad (2)$$

$$\dot{D}(t) = \varepsilon I(t) - (\eta + \rho)D(t) \quad (3)$$

$$\dot{A}(t) = \zeta I(t) - (\theta + \mu + \kappa) A(t) \quad (4)$$

$$\dot{R}(t) = \eta D(t) + \theta A(t) - (v + \xi) R(t) \quad (5)$$

$$\dot{T}(t) = \mu A(t) + v R(t) - (\sigma + \tau) T(t) \quad (6)$$

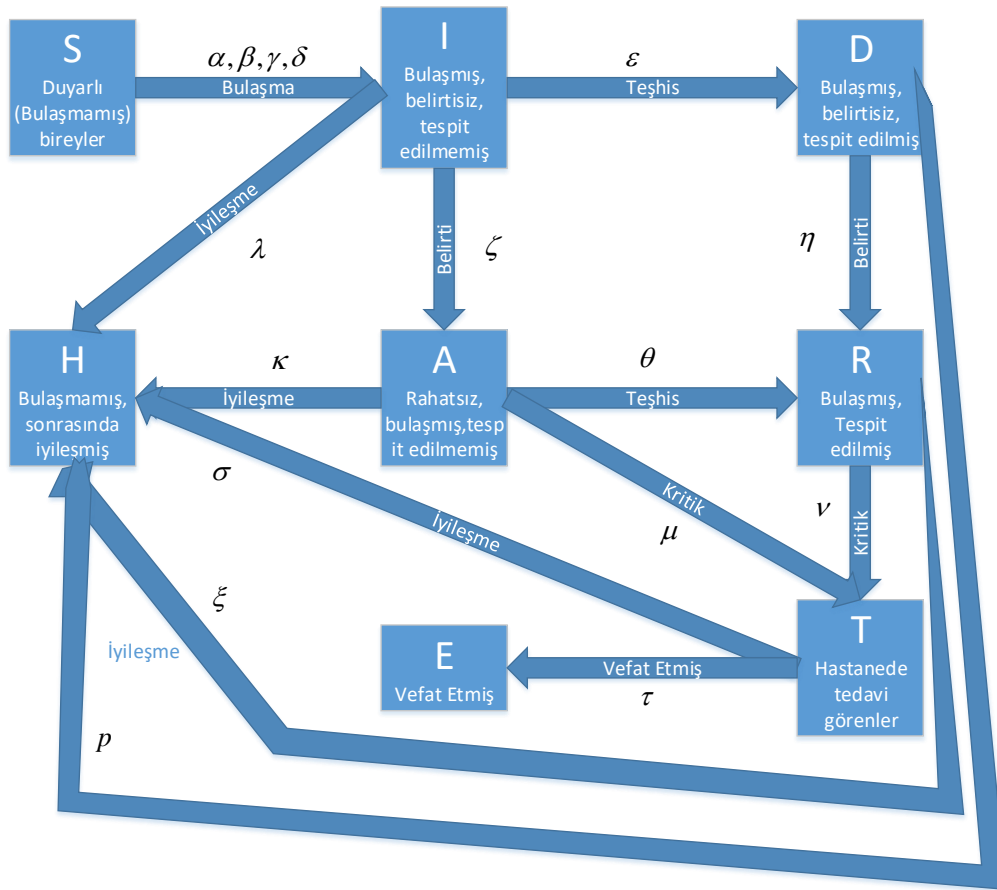
$$\dot{H}(t) = \lambda I(t) + \rho D(t) + \kappa A(t) + \xi R(t) + \sigma T(t) \quad (7)$$

$$\dot{E}(t) = \tau T(t) \quad (8)$$

Yukarıdaki denklemlerde, (1)-(8), büyük harfler, Şekil 1'de de gösterildiği üzere, salgınla olan münasebetine göre toplum içerisindeki gurupların toplam nüfusa oranını temsil etmektedir. Model

toplam nüfusu temsil ettiğinden, tüm gurupların oranları toplamı her zaman 1'e eşittir,

$$S(t) + I(t) + D(t) + A(t) + R(t) + T(t) + H(t) + E(t) = 1 \quad (9)$$



Şekil 1. SIDARTHE matematiksel modelinde salgının farklı aşamaları arasındaki etkileşimleri temsil eden grafik şeması.

Eşitliklerde geçen, küçük harflerle belirtilen Yunan alfabeti karakterleri ise aşağıda tanımlanmıştır:

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$: Hastalık bulaşmamış bireyler gurubundan (S), sırasıyla, I, D, A ve R guruplarına geçişin hızını tanımlamaktadır. Bu parametreler devlet politikası sonucunda, okulların kapatılması,

uzaktan çalışma, sokağa çıkma yasağı gibi sosyal mesafe önlemleri ile azaltılabilir.

ε, θ : Sırasıyla, belirti gösteren ve belirti göstermeyen hastaların tespit edilme hızlarını ifade etmektedir.

ζ, η : Sırasıyla tespit edilen ve edilmeyen bireylerin belirti gösterme hızlarını vermektedir.

μ, ν : Sırasıyla tespit edilmiş ve tespit edilmemiş bireylerin hastanede yatma gereksinimi hızlarını belirlemektedir.

τ : Hayati tehlikesi olan hastalar içerisinde ölüm oranını ifade eder. Bu oran, tedavi yöntemlerinin iyileştirilmesi ile azaltılabilir.

$\lambda, \kappa, \xi, \rho, \sigma$: Sırasıyla, I, A, R, D ve T gurubundaki bireylerin iyileşerek H gurubuna geçme hızlarını ifade eder.

Tehdit altındaki bireyler için iyileşme oranı $\sigma(T)$, ölüm oranı ise $\tau(T)$ 'dir ve her ikisi de tedavi gören hasta oranı, T 'ye bağlıdır. Buradan da anlaşılacağı üzere, Hastanede yatan bireylerin azalması hem yatak kapasitesinin aşılmasını sağlayacağı gibi, hem de ölüm oranlarını düşürecektir.

Sonraki bölümde, tasarlamış olduğumuz geri adımlamalı kontrolcü verilmiştir.

3. Geri adımlamalı kontrolcü tasarımı

Bu bölümde, dinamik denklemleri (1)-(8) verilen salgın modelinde, hastanede tedavi görmesi gereken hasta sayısının, T , hasta yatak kapasitesini, T^{\max} , aşmaması için kontrolcü tasarlanmaktadır. Kontrol parametreleri olarak, hastalığa duyarlı bireylerin, hastalık bulaşma oranları α, β seçilerek, her ikisi için ayrı ayrı kontrolcü tasarlanmaktadır. Bu vesileyle, idarecilere iki farklı kontrol parametresi seçeneği sunulacak ve sosyal ekonomik olarak daha az maliyetli olanı tercih etme imkânına sahip olacaklardır. Kontrol parametreleri, α, β , tedavi gören hasta oranının dinamiğinde (6) direk bulunmadığı için, T 'yi kontrol etmek için Lyapunov kararlılık kriteri kullanılarak üç adımda, geri adımlamalı kontrolcü tasarımı gerçekleştirilmektedir.

Birinci adımda, A durumu hayali kontrolcü olarak T nin T^{\max}_1 geçmemesini sağlayacak şekilde tanımlanır. İkinci adımda, I değişkeni, A değişkeninin beklenen sinyali takip etmesi için hayali kontrolcü olarak tanımlanır. Son adımda, I değişkeninin beklenen sinyali takip etmesi için, sırasıyla kontrolcüler, α, β , tasarlanır.

3.1. Yatan hasta sayısı, T 'nin kontrolü

İlk olarak, hastane yatak kapasitesi, T^{\max} olarak tanımlanırsa, azami hastanede yatması muhtemel hasta sayısı ile, o anki hastanede yatması gereken hasta sayısı arasındaki fark

$$e_T = T - T^{\max} \quad (10)$$

olarak tanımlanır. Daha sonra, Lyapunov fonksiyonu (10)'a bağlı olarak

$$L_T = \frac{1}{2} e_T^2 \quad (11)$$

verilir. (11)'in türevi alınır,

$$\dot{L}_T = e_T \dot{e}_T = e_T (\dot{T} - \dot{T}^{\max}) \quad (12)$$

elde edilir.

Hasta yatak kapasitesi zamanla değişmediği varsayılarak, eşitlik (6), (12)'de yerine yazılarak

$$\dot{L}_T = e_T (\mu A(t) + \nu R(t) - (\sigma + \tau) T(t)) \quad (13)$$

olarak bulunur. Eşitlik (13)'de,

$$A^d(t) = \frac{1}{\mu} (-\nu R(t) + (\sigma + \tau) T(t) - k_T e_T), \quad (14)$$

$k_T > 0$ kontrol parametresi olmak üzere hayali kontrolcü olarak seçilir ve (13) 'de $A(t)$ yerine yazılırsa, eşitlik (13)

$$\dot{L}_T = -k_T e_T^2 \quad (15)$$

olur. Eşitlik (15)'den e_T 'nin, $A(t) \rightarrow A^d(t)$, durumunda asimptotik kararlı olduğunu sonucu açıkça görülmektedir. Bir sonraki adımda ise, I parametresi hayali kontrolcü olarak kullanılarak,

$$e_A = A(t) - A^d(t) \quad (16)$$

kontrol edilecektir.

3.2. I hayali kontrolcüsü ile e_A 'nın kontrolü

Bu bölümde, hayali kontrolcü olarak tanımlanan, $A(t)$ 'nin olması gereken değeri, $A^d(t)$ takip etmesi için, hastalık bulaşmış birey sayısı, hayali kontrolcü olarak tanımlanacaktır. Bu kapsamda, (16)'ya bağlı Lyapunov fonksiyonu

$$L_A = \frac{1}{2} e_A^2 \quad (17)$$

olarak seçilir ve türevi alınır

$$\dot{L}_A = e_A \dot{e}_A = e_A (\dot{A} - \dot{A}^d) \quad (18) \quad \text{elde edilir. Eşitlik (14)'ün türevi alınır,}$$

$$\dot{A}^d(t) = -v \frac{1}{\mu} \dot{R}(t) + \frac{1}{\mu} (\sigma + \tau) \dot{T}(t) - \frac{1}{\mu} k_T \dot{e}_T \quad (19)$$

(19) ve (4), (18)'de yerine yazılırsa

$$\dot{L}_A = e_A \left(\zeta I(t) - (\theta + \mu + \kappa) A(t) - \left(-v \frac{1}{\mu} \dot{R}(t) + \frac{1}{\mu} (\sigma + \tau) \dot{T}(t) - \frac{1}{\mu} k_T \dot{T} \right) \right) \quad (20)$$

olarak bulunur. Hayali kontrolcü

$$I^d(t) = \frac{1}{\zeta} \left((\theta + \mu + \kappa) A(t) \left(-v \frac{1}{\mu} \dot{R}(t) + \frac{1}{\mu} (\sigma + \tau) \dot{T}(t) - \frac{1}{\mu} k_T \dot{T} \right) - k_A e_A \right) \quad (21)$$

olarak tanımlanır, (20)'de yerine yazılırsa

$$\dot{L}_A = -k_A e_A^2 \quad (22)$$

olur. Böylece, $I(t) \rightarrow I^d(t) \Rightarrow e_A \rightarrow 0$ sonucu eşitlik (22)'den kolayca görülebilir. Bir sonraki ve son adımda ise,

$$e_I = I(t) - I^d(t) \quad (23)$$

hatasını kontrol etmek için, gerçek kontrol parametreleri α, β kullanılacaktır.

3.3. α, β ile e_I 'nin kontrolü

Bu bölümde ise, gerçek kontrol parametrelili, α, β , (23) ü kontrol etmek için tasarlanmaktadır. Bunun için, ilk olarak

$$L_I = \frac{1}{2} e_I^2 \quad (24)$$

tanımlanır ve türevi alınarak

$$\dot{L}_I = e_I \dot{e}_I = e_I (\dot{I} - \dot{I}^d) \quad (25)$$

elde edilir. Daha sonra, $\Gamma = \frac{(\theta + \mu + \kappa)}{\zeta}$ olarak tanımlanır, eşitlik (21)'in türevi alınır,

$$\begin{aligned} \dot{I}^d(t) &= \Gamma \dot{A}(t) \left(-v \frac{1}{\mu} \dot{R}(t) + \frac{1}{\mu} (\sigma + \tau) \dot{T}(t) - \frac{1}{\mu} k_T \dot{T} \right) \\ &+ \Gamma A(t) \left(-v \frac{1}{\mu} \ddot{R}(t) + \frac{1}{\mu} (\sigma + \tau) \ddot{T}(t) - \frac{1}{\mu} k_T \ddot{T} \right) - \frac{1}{\zeta} k_A (\dot{A} - \dot{A}^d) \end{aligned} \quad (26)$$

olarak bulunur ve burada, $\ddot{R}(t), \ddot{T}(t)$ sırasıyla eşitlik (5), (6) nın türevleri alınarak bulunur. Daha sonra, (26) ve (2) eşitlik (25)'de yerine yazılınca

$$\dot{L}_I = e_I \begin{pmatrix} S(t)(\alpha I(t) + \beta D(t) + \gamma A(t) + \delta R(t)) - (\varepsilon + \zeta + \lambda)I(t) \\ -\Gamma \dot{A}(t) \left(-\nu \frac{1}{\mu} \dot{R}(t) + \frac{1}{\mu} (\sigma + \tau) \dot{T}(t) - \frac{1}{\mu} k_T \dot{T} \right) \\ -\Gamma A(t) \left(-\nu \frac{1}{\mu} \ddot{R}(t) + \frac{1}{\mu} (\sigma + \tau) \ddot{T}(t) - \frac{1}{\mu} k_T \ddot{T} \right) + \frac{1}{\zeta} k_A (\dot{A} - \dot{A}^d) \end{pmatrix} \quad (27)$$

olarak bulunur. Eşitlik (27) kullanılarak, iki farklı kontrolcü aşağıdaki gibi verilmiştir

$$\alpha = \frac{1}{I(t)S(t)} (-\beta D(t) - \gamma A(t) - \delta R(t) - k_I e_I) - \frac{1}{I(t)} \begin{pmatrix} -(\varepsilon + \zeta + \lambda)I(t) + \Gamma \dot{A}(t) \left(-\nu \frac{1}{\mu} \dot{R}(t) + \frac{1}{\mu} (\sigma + \tau) \dot{T}(t) - \frac{1}{\mu} k_T \dot{T} \right) \\ +\Gamma A(t) \left(-\nu \frac{1}{\mu} \ddot{R}(t) + \frac{1}{\mu} (\sigma + \tau) \ddot{T}(t) - \frac{1}{\mu} k_T \ddot{T} \right) - \frac{1}{\zeta} k_A (\dot{A} - \dot{A}^d) \end{pmatrix} \quad (28)$$

$$\beta = \frac{1}{D(t)S(t)} (-\alpha I(t) - \gamma A(t) - \delta R(t) - k_I e_I) - \frac{1}{D(t)} \begin{pmatrix} -(\varepsilon + \zeta + \lambda)I(t) + \Gamma \dot{A}(t) \left(-\nu \frac{1}{\mu} \dot{R}(t) + \frac{1}{\mu} (\sigma + \tau) \dot{T}(t) - \frac{1}{\mu} k_T \dot{T} \right) \\ +\Gamma A(t) \left(-\nu \frac{1}{\mu} \ddot{R}(t) + \frac{1}{\mu} (\sigma + \tau) \ddot{T}(t) - \frac{1}{\mu} k_T \ddot{T} \right) - \frac{1}{\zeta} k_A (\dot{A} - \dot{A}^d) \end{pmatrix} \quad (29)$$

, burada $k_I > 0$ kontrol kazancıdır. Eşitlik (28) veya (29), eşitlik (27)'de yerine yazılırsa,

$$\dot{L}_I = -k_I e_I^2 \quad (30)$$

elde edilir. Yukarıda verilen kontrolcülerden, (28) veya (29), biri tercih edilecektir. Tercih edilen kontrolcü dinamik olarak hesaplanırken, diğer kontrol parametresi sabit kabul edilecektir.

Not: Bu çalışmada, yayılım parametrelerinden sadece iki tanesi için kontrolcü tasarımı yapılmıştır, (28), (29). Diğer iki yayılım parametreleri γ, δ için de, ilk adımları aynı kalmak suretiyle, son adımda kontrolcü tasarımı yapılabilir.

3.3. Normalize edilmiş kontrolcü hesaplanması

Bu bölümde, eşitlik (28) ve (29) da verilen kontrolcüler normalleştirilmiştir. Bunun sebebi, gerçek salgın yönetiminde, başlangıç değerleri $\alpha = 0.57, \beta = 0.011$ olarak verilen kontrol parametreleri, kontrol edildiğinde

$$0 \leq \alpha < 0.57, 0 \leq \beta < 0.011, \quad (31)$$

aralığında değer alacaktır. Bu yüzden, kontrol parametrelerinin başlangıç değerleri $\alpha_b = 0.57, \beta_b = 0.011$, olarak tanımlanmış ve normalleştirilmiş geri adımlamalı kontrolcüler aşağıdaki gibi verilmiştir

$$\alpha(t) > \alpha_b \Rightarrow \alpha(t) = \alpha_b,$$

$$\beta(t) > \beta_b \Rightarrow \beta(t) = \beta_b,$$

$$\alpha(t) \leq \alpha_b \Rightarrow \alpha(t) = \alpha_b - \alpha_b \left(1 - e^{-(\alpha - \alpha_b)/c} \right),$$

$$\beta(t) \leq \beta_b \Rightarrow \beta(t) = \beta_b - \beta_b \left(1 - e^{-(\beta - \beta_b)/c} \right). \quad (32)$$

Eşitlik (32)'de, $c > 0$ fonksiyonun 0'a yakınsama hızını vermektedir ve kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir. Böylece, kontrol parametreleri (28) ve (29), (32)'de ki gibi normalleştirildiğinde, (31) garanti edildiği görülmektedir.

Sadece bir yayılım parametresinin değeri, geri besleme ile hesaplandıktan (28) ve normalleştirildikten (32) sonra, kalan üç yayılım parametresi, hesaplanan parametre ile aynı oranda

değiştirdiği varsayılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Aşağıdaki hesaplamada, α 'nın geri besleme ile hesaplandığı varsayılmış ve diğer

parametrelerin, referans yayın (Giordano vd., 2020)'de verilen değerleriyle orantılı olarak α 'ya bağlı değer aldığı düşünülmüştür.

$$\beta(t) = \alpha(t) \frac{0.011}{0.57}, \quad \gamma(t) = \alpha(t) \frac{0.456}{0.57}, \quad \delta(t) = \alpha(t) \frac{0.011}{0.57} \quad (33)$$

Sonraki bölümde, kontrol stratejimiz benzetim çalışması yardımıyla denemiştir ve sonuçlar kontrolcünün hasta sayısını istenen sayının altında tuttuğu gözlemlenmiştir.

4. Benzetim sonuçları ve tartışma

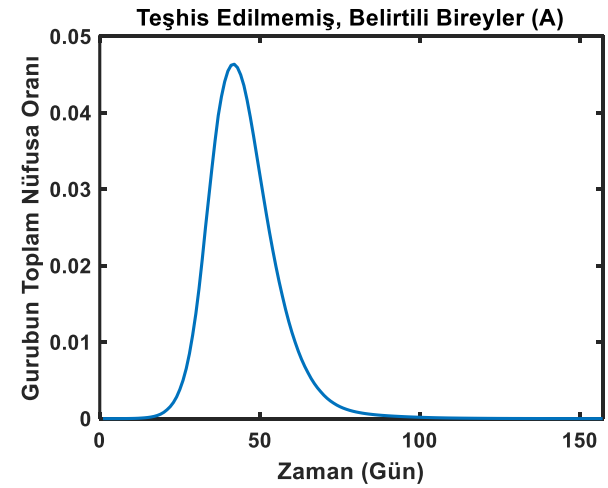
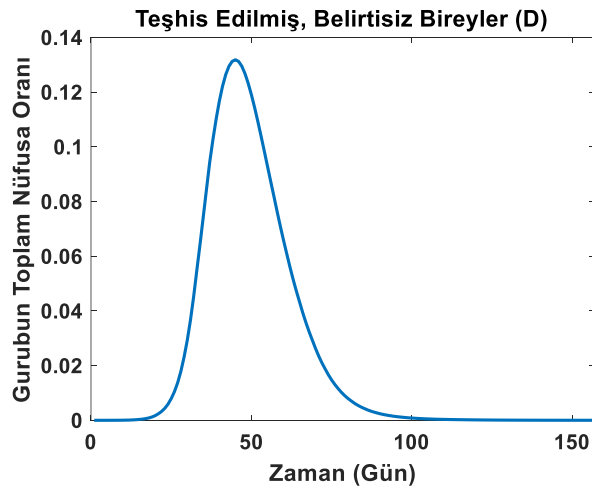
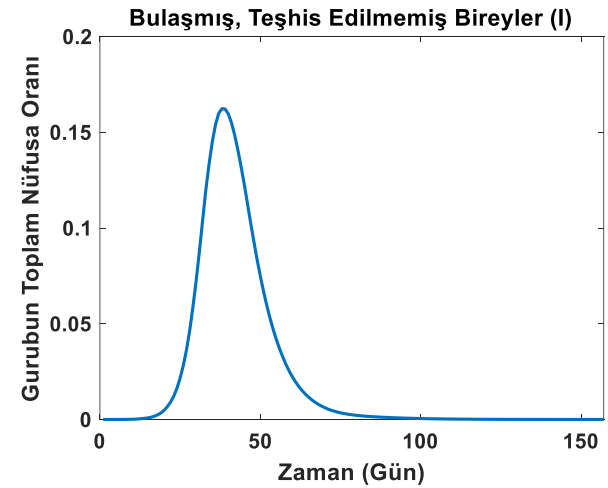
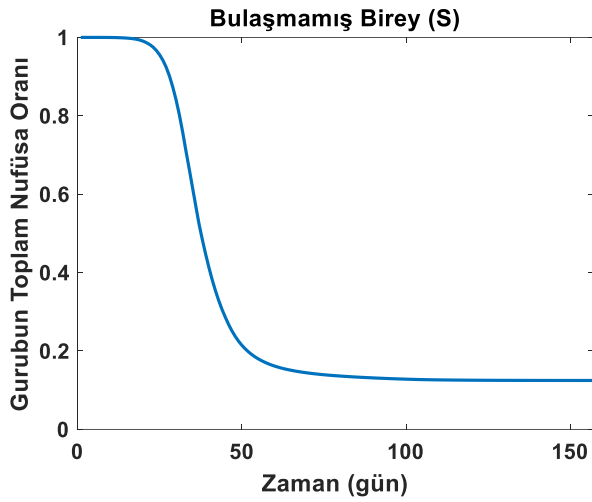
Bu bölümde, covid-19 salgının yayılım denklemleri (1)-(8)'i kontrol etmek için tanımlanan kontrolcülerden, ilkinin, (28), salgının yayılımda belirlenen hasta sayısının aşılmadığını gösterilmektedir. Bu bağlamda, iki aşamalı bir yaklaşım verilmiştir. Birinci kısımda, İtalya için

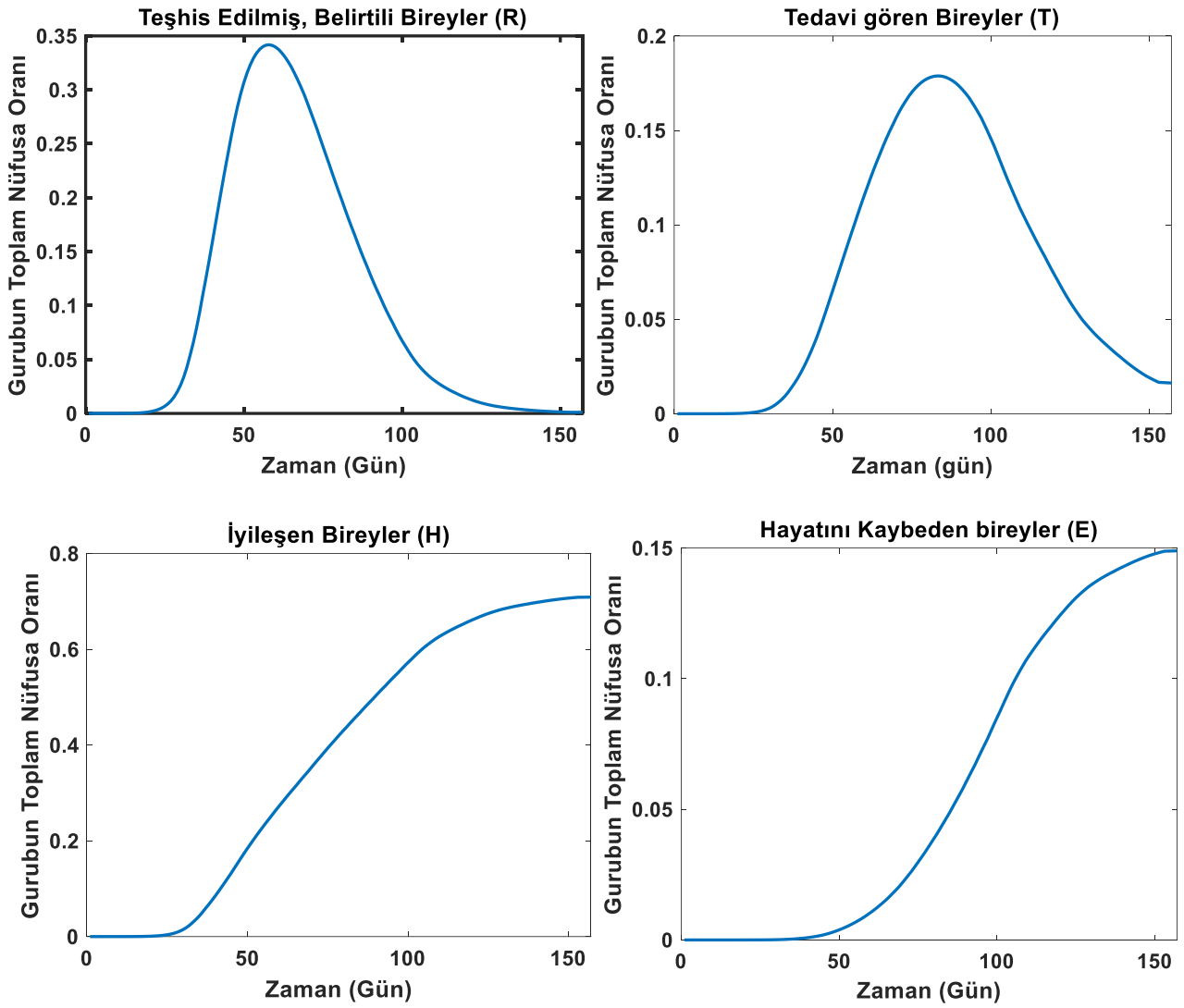
(Giordano vd., 2020)'de verilen başlangıç katsayıları kullanılmıştır ve hiçbir kontrol olmadığında salgın sonucunda tablo nasıl olacaktı sorusunun cevabı verilmiştir. İkinci kısımda ise, bizim öne sürdüğümüz geri adımlamalı kontrolcünün uygulanması sonucunda tablo verilmiştir.

4.1. Kontrolsüz Yayılım Sonuçları

İtalya'da salgının başlangıcında aşağıdaki yayılım katsayıların geçerli olduğu (Giordano vd., 2020) 'de verilmiştir.

$$\alpha = 0.57, \beta = 0.011, \gamma = 0.456, \delta = 0.011, \varepsilon = 0.171, \theta = 0.371, \zeta = 0.125, \eta = 0.125, \mu = 0.017, \nu = 0.027, \tau = 0.01, \lambda = 0.034, \rho = 0.034, \kappa = 0.017, \xi = 0.017, \sigma = 0.017 \quad (34)$$





Şekil 2. (Giordano vd., 2020)'de verilen başlangıç parametreleri ile (kontROLSÜZ yayılım) salgının sonuçta hangi boyuta ulaşacağını gösteren grafikler.

Şekil 2' de gösterildiği üzere, hastaneye yatan hasta sayısı (T), toplam nüfusun %18 i oluyor tepe noktasında. Bu da İtalya'da 10.800.000 hasta anlamına geliyor ki bu büyüklükte hastane kapasitesinin olması mümkün değildir. Bu sebepten, bir sonraki bölümde, azami hasta sayısını aşmayacak şekilde kontrolü ile ilgili benzetim sonuçları verilmiştir.

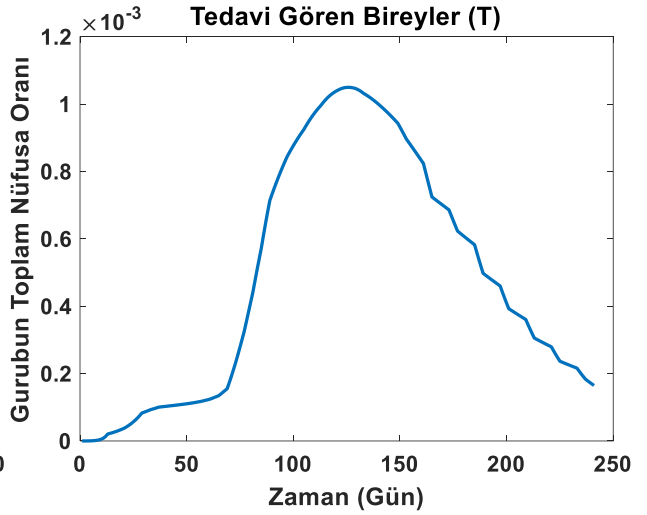
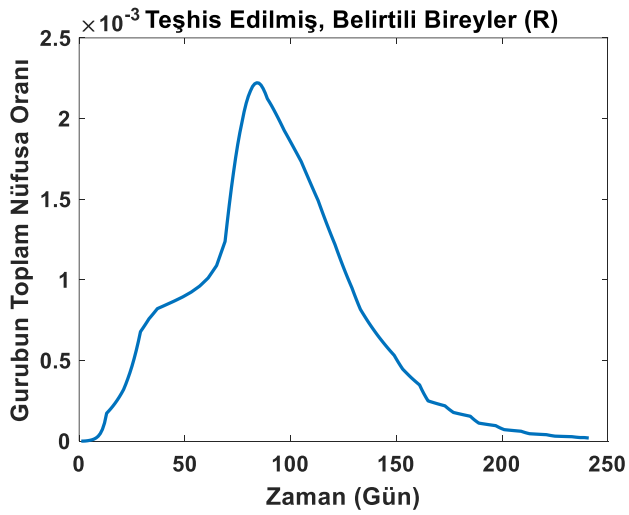
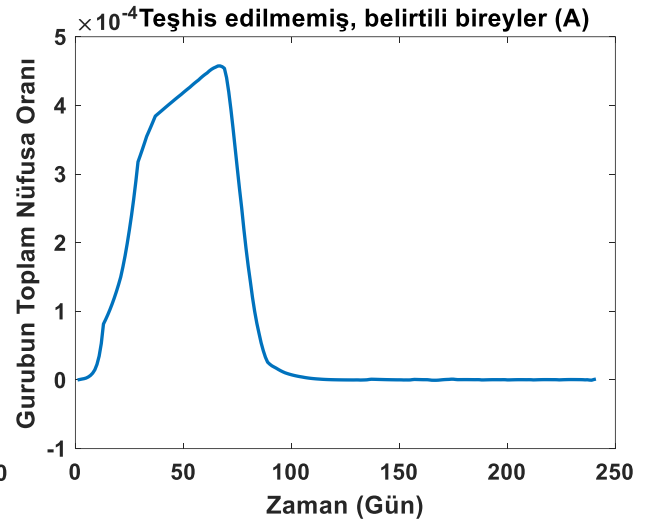
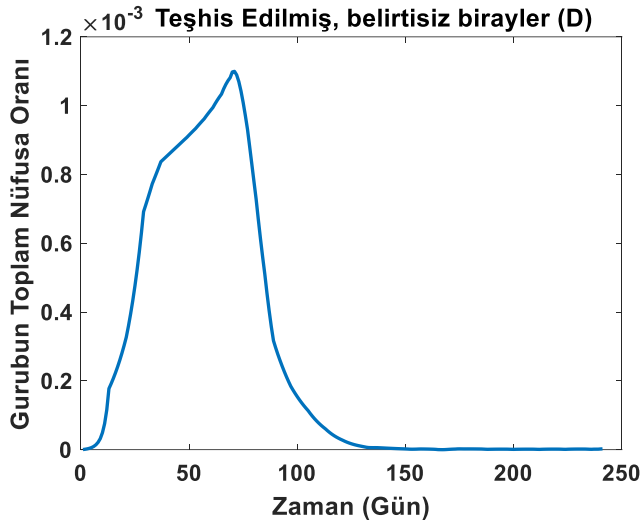
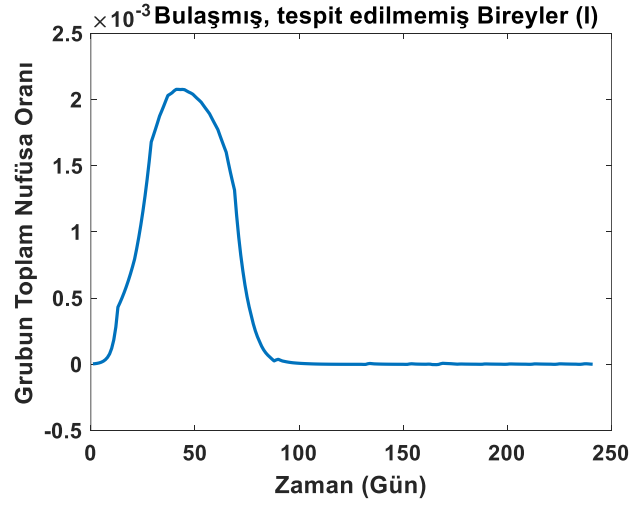
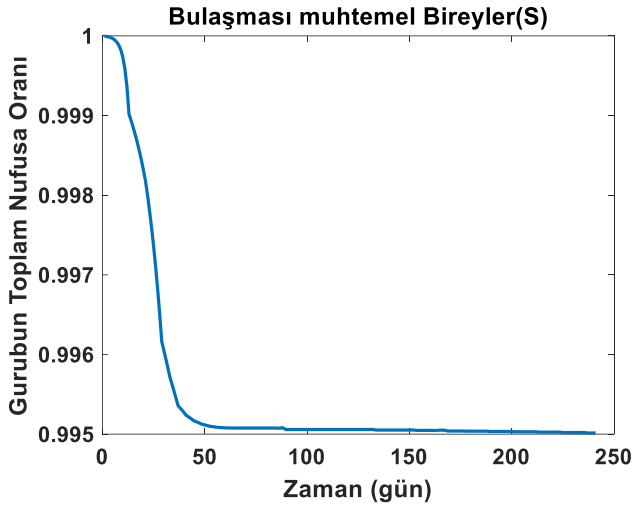
4.2. Kontrollü yayılım sonuçları

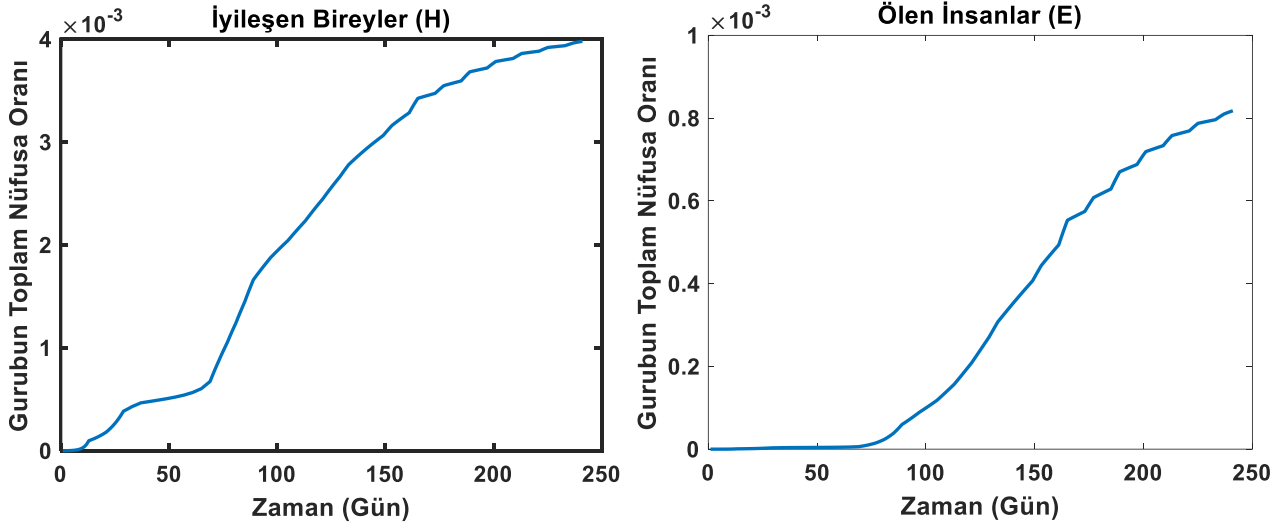
Bu bölümde, α parametresinin (28) eşitliği ile dinamik olarak hesaplanıp, (32) ile normalleştirilmiş hali, sistem dinamiğine uygulandığı durumda sonuçlar verilmiştir.

$\beta(t)$, $\gamma(t)$, $\delta(t)$ parametreleri $\alpha(t)$ ' ye bağlı olarak (33) den hesaplanmıştır. Azami hasta yatak sayısı, $T^{\max} = 0.0012 * 60000000 = 72000$ olarak alınmıştır ve diğer yayılım parametrelerinin değişmediği varsayılmıştır.

$$\theta = 0.371, \zeta = 0.125, \eta = 0.125\mu = 0.017, \nu = 0.027, \tau = 0.01, \\ \lambda = 0.034, \rho = 0.034, \kappa = 0.017, \xi = 0.017, \sigma = 0.017$$

(35)

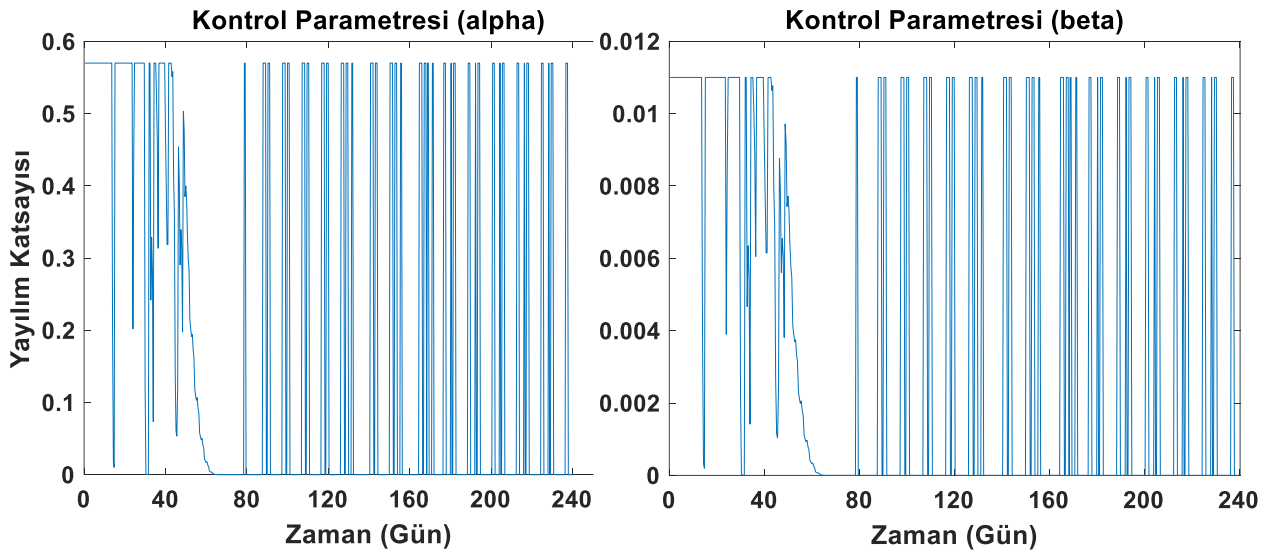


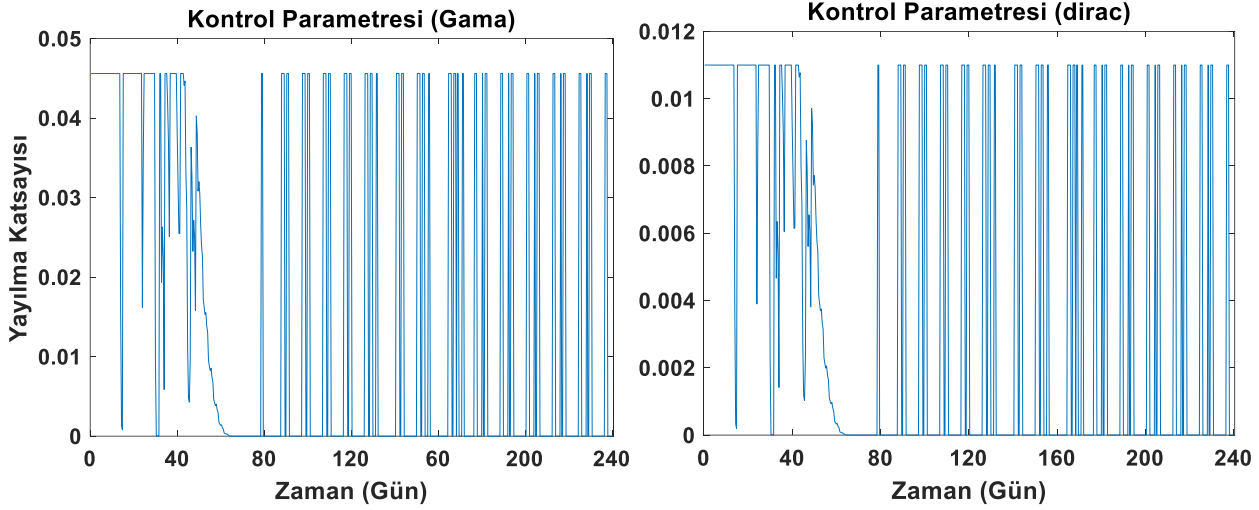


Şekil 3. (Giordano vd., 2020)'de verilen başlangıç parametreleri (35) ve dinamik α (kontrollü yayılım) durumunda salgının ne duruma ulaşacağını gösterir grafikler.

Şekil 3'deki bütün grafiklerin ilk 10 günlük kısmı incelendiğinde, kontrolsüz bir yayılım göze çarpmaktadır. Örneğin, bulaşmamış bireyler (S) grafiğinde üstel bir iniş varken ilk 10 gün, kontrollü yayılıma geçildiği andan itibaren, düşüş hız azalmış ve yataya yakın bir seyir izlemeye başlamıştır. İlk günlerdeki hızlı yayılmanın sebebini Şekil 4'den de gözlemlemek mümkündür. Geri adımlamalı kontrolcü yöntemi ile hesaplanmış α katsayısının, ilk 10 günlük süreçte kontrolsüz yayılımdaki değerine, 0.57'ye, ve diğer parametrelerin de kontrolsüz yayılımdaki değerlerine eşit olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, kontrolcü tasarımında, tüm durum değişkenlerinin, S, I, D, A, R, T, H, E temin edilebilir olduğu varsayılmıştır. Halbuki, gerçek hayatta, özellikle tespit edilememiş bireylerin gerçek sayısı elde edilemez. Bu durumda, geri beslemeli kontrolcü tasarlarken, gözlemci tabanlı kontrol yaklaşımından yararlanılabilir. Sistem modeli kullanılarak, ölçülebilir durum değişkenleri üzerinden, örneğin T, E gibi, ölçülemeyen durum değişkenleri kestirilebilir. Bu problem, bir sonraki adımda araştırmacıların dikkate almasını önereceğimiz bir konudur.





Şekil 4. Kontrol parametrelerinin, $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 'nın zamanla değişimi.

Şekil 3'de verildiği üzere, hastanede yatan hasta sayısı (T), toplam nüfusa oranla $1.2 \cdot 10^{-3}$ 'ün altında kalmış ve gerekli yatak sayısı tepe noktasında bile 62.400 civarında kalmıştır. Şekil 4 ise, kontrol parametreleri $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 'nın zamanla değişimini göstermektedir. İlk 10 günlük süreçte, parametrenin değeri kontrolsüz yayılımdaki değerlerinde sabit kalmıştır. Bunun fiziksel anlamı, kontrol algoritması temas kısıtlamasına gereksinim duymamıştır. Daha sonraki 20 günlük süreçte ise, belirli günlerde parametre 0'a yakın değerlere inerek, sosyal tecrit olması gereken günleri göstermektedir. Kontrol parametresi, 45. gün ile 70. gün arasında ise, kademeli olarak 0'a inmektedir. Bunun fiziksel anlamı, her geçen gün sosyal hayatın içerisinde bazı faaliyetlerin yasaklanmasıdır. 70. günden sonra ise kontrol parametresi bazı günler 0'da sabit kalarak, topyekûn tecrit gerektiğini dikte ederken, bazı günler daha esnek davranılabileceğini söylemektedir.

Kaynaklar

- Barbarossa, M. V., Fuhrmann, J., Heidecke, J., Varma, H. V., Castelletti, N., Meinke, J. H., Krieg, S. and Lippert, T. (2020). A first study on the impact of current and future control measures on the spread of COVID-19 in Germany. medRxiv preprint. <https://doi.org/10.1101/2020.04.08.20056630>.
- Bin, M., Cheung, P., Crisostomi, E., Ferraro, P., Myant, C., Parisini, T. and Shorten R. (2020). On fast multi-shot epidemic interventions for post lockdown mitigation: Implications for simple COVID-19 models. arXiv:2003.09930.
- Casella F. (2020). Can the COVID-19 epidemic be managed on the basis of daily data? IEEE Control Systems Letters, 5(3), 1079-1084. <https://doi.org/10.1109/LCSYS.2020.3009912>
- Casella F. (2021). Can the COVID-19 Epidemic be controlled on the basis of daily test reports?. IEEE Control Systems Letters. 5(3),1079-1084. <https://doi.org/10.1109/LCSYS.2020.3009912>.
- Dehning, J., Zierenberg, J., Spitzner, F. P., Wibral, M., Neto, J. P., Wilczek, M. and Priesemann, V. (2020). Inferring COVID-19 spreading rates and potential change points for case number forecasts. Science 369(6500). <https://doi.org/10.1126/science.abb9789>
- German, R., Djanatliev, A., Maile, L., Bazan, P. and Hackstein, H. (2020). Modeling exit strategies from COVID-19 lockdown with a focus on antibody tests. medRxiv preprint. <https://doi.org/10.1101/2020.04.14.20063750>.
- Giordano, G., Blanchini, F., Bruno, R., Colaneri, P., Filippo, A. D., Matteo, A. D. and Colaneri, M. (2020). Modelling the COVID-19 epidemic and implementation of population-wide interventions in Italy. Nature Medicine.26, 855–860. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0883-7>
- Guzey, H. M., Xu, H. and Sarangapani, J. (2016). Neural network-based finite horizon optimal adaptive consensus control of mobile robot formations. Optimal Control Applications and Methods 37(5), 1014-1034. <https://doi.org/10.1002/oca.2222>
- Guzey, H. M., Vignesh, N., Jagannathan, S., Dierks, T. and Acar, L. (2017). Distributed consensus-based event-triggered approximate control of nonholonomic mobile robot formations, American Control Conference (ACC), Seattle, WA, 3194-3199. <https://doi.org/10.23919/ACC.2017.7963439>

- Guzey, H. M., Dierks, T. and Jagannathan, S. (2019). Modified consensus-based output feedback control of quadrotor UAV formations using neural networks. *Journal of Intelligent & Robotic Systems* 94, 283–300. <https://doi.org/10.1007/s10846-018-0961-y>
- Kissler, S., Tedijanto, C., Lipsitch, M. and Grad, Y. H. (2020). Social distancing strategies for curbing the COVID-19 epidemic, medRxiv preprint. <https://doi.org/10.1101/2020.03.22.20041079>.
- Lauro, F. D., Kiss, I. Z., Rus, D. and Santina, C. D. (2021). Covid-19 and flattening the curve: A feedback control perspective. *IEEE Control Systems Letters* 5(4), 1435-1440. <https://doi.org/10.1109/LCSYS.2020.3039322>.
- Maharaj, S. and Kleczkowski, A. (2012). Controlling epidemic spread by social distancing: Do it well or not at all. *BMC Public Health* 12 (679), 1–16. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-679>
- Maier, B. F. and Brockmann, D. (2020). Effective containment explains subexponential growth in recent confirmed COVID-19 cases in China. *Science* 368(6492) 742-746. <https://doi.org/10.1126/science.abb4557>.
- Tsay, C., Lejarza, F., Stadtherr, M. A. and Baldea, M. (2020). Modeling, state estimation, and optimal control for the US COVID-19 outbreak. *Scientific Reports* 10, 10711. <https://doi.org/10.1038/s41598-020>

Ag katkılı CdO ince filmlerinin sıcak püskürtme tekniği ile büyütülmesi ve yapısal incelemesi

Growth and structural characterization Ag doped CdO thin films by spray pyrolysis technique

Serdar AYDIN*^{1,a}

¹Atatürk Üniversitesi, Bilgisayar Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi, 25240, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 07.03.2021 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 22.03.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 25.03.2021

Öz

Çalışmamızda Ag katkılanmış CdO ince filmlerinin (ITO) altlık üzerine sıcak püskürtme (Spray) tekniği ile altlıklar 400°C sabit sıcaklıkta iken büyütülme işlemi gerçekleştirilmiş ve üretilen ince filmlerin yapısal özellikleri araştırılmıştır. X-Işını Kırınımı (XRD) cihazı ile yapısal inceleme yapılmış, XRD sonuçlarından numunelerin polikristal kübik yapıda olduğu, tercihi yönelimlerinin katkı miktarının değişimiyle değişmeyip (111) düzlemi olduğu ve 23 nm civarında ortalama kristal boyutuna sahip olduğu görülmüştür. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile ince filmlerin görüntüleri incelenmiş, Ag katkı oranı değişiminin yüzey morfolojisinde önemli bir değişime neden olmadığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Ag katkı, CdO, Sıcak püskürtme

Abstract

In the study, Spray pyrolysis technic was used to grow Ag-doped CdO thin films on Indium Tin Oxide (ITO) substrates. Temperatures of ITO substrates were fixed at 400°C. The structural and morphological properties of the thin films were investigated by X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscope (SEM) devices. According to XRD results, the thin films have polycrystalline cubic structure and the average crystal sizes of thin films with Ag dopant are around 23 nm. According to Scanning Electron Microscope (SEM) images, changing of Ag dopant ratio does not effects surface morphology of samples significantly.

Keywords: Ag dopant, CdO, Spray pyrolysis

*^a Serdar AYDIN; serdar@atauni.edu.tr, Tel: (0533) 5561662, orcid.org/0000-0003-4943-3272

1. Giriş

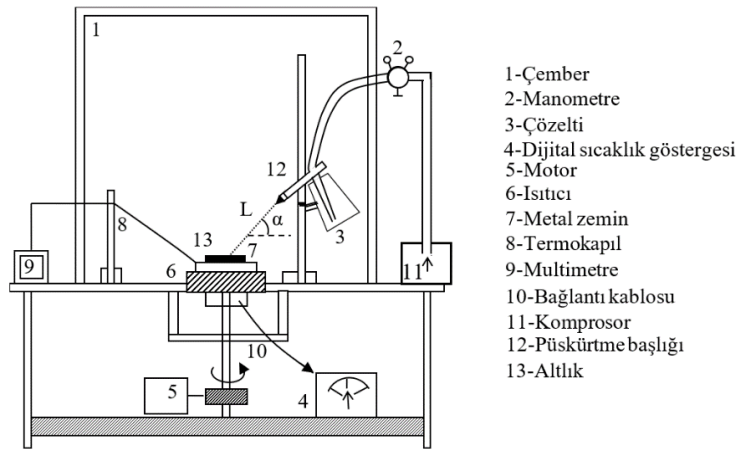
Günümüzde hemen her alanda kullanmakta olduğumuz yarıiletken aygıtlar içerisinde oldukça önemli bir yere sahip olan ince filmlerin optik, elektrik yapısal incelemelerinin yapılması bilimsel açıdan oldukça önem arz etmektedir. Gün geçtikçe ilerleyen teknolojiyle birlikte, ince filmlerin kullanım alanları farklılık göstermektedir. İnce filmler, optoelektronik ve elektronik endüstrisinin ana unsurları arasında yer almaktadır. Son birkaç yılda, gelişmiş elektro-optik özellikleri sayesinde (saydam iletken oksit filmler) TCO'lar yaygın olarak kullanılan yarıiletken filmler arasında kendilerine yer bulmuşlardır. TCO'lar optoelektronik cihazların üretiminde sahip oldukları önem nedeniyle araştırmacıların ilgisini çekmektedir. TCO'lardan biri olan CdO son yıllarda gaz sensör üretimi, güneş pili, fotodiyot uygulamaları, fototransistörler ve optoelektronik uygulamaları gibi uygulamalarda yüksek doğrusal refraktif indeks değeri, yüksek elektrik iletkenliği, taşıyıcı yoğunluğu ve elektromanyetik tayfin görünür bölgesinde yüksek optik geçirgenliği gibi bazı özelliklerinin sayesinde oldukça popüler olmuştur (Ali 2017; Abbas vd., 2018). Katkılı ve katkısız CdO ince filmleri farklı tekniklerle oluşturulabilmektedir. Püskürtme (Ferro ve Rodriguez 1999), SILAR (Salunkhe ve Lokhande 2008; Güney ve İskenderoğlu 2017), termal buharlaşma (Dakhel ve Henari 2003), kimyasal buhar biriktirme (Li vd., 2001), sol-jel (Aksoy vd., 2009), darbeli lazer biriktirme (Gupta vd., 2009) teknikleri bu yöntemler arasında sayılabilir.

Bu çalışmada ekonomik, basit bir yöntem olması ve büyütülmesi planlanan ince filmlerin çözelti

olarak püskürtülmesi, çözeltiye istenen tür ve miktarda katkı maddesi ile filmlerin fiziksel, elektriksel, optiksel v.b. birçok özelliklerini kolayca değiştirebiliyor olmamız sebebiyle Püskürtme tekniği seçilmiş ve gümüş (Ag) katkılı CdO ince filmlerinin İndiyum Kalay Oksit (ITO) altlık üzerine büyütülmesi başarılı olarak gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve metot

B Spray Pyrolysis Yöntemi, kimyasal püskürtme tekniği olarak da bilinen bir yöntemdir. Bu teknikte, üretilmesi planlanan ince filmler için özel olarak hazırlanan kimyasal çözeltiler, hava veya azot gazı yardımıyla bernoulli prensibine uygun olarak atomize edilerek önceden ısıtılmış altlıklar üzerine püskürtülür. Sonuç olarak sıcak altlık üzerine püskürtülerek gönderilen tanecikler film yüzeyine tutunur, tutunamayan tanecikler buharlaşarak gaz formunda ortamdaki çekilir. Bu teknik kullanılarak üretilen filmler polikristal yapıda olmaktadır. Altlık sıcaklığı, büyütülen filmlerin yapısını ve özelliklerini doğrudan etkilediğinden oldukça önemlidir. Püskürtme hızı, püskürtme başlığı ile altlık arasındaki mesafe, başlangıç çözeltisinin etkisi ve sprej başlığının geometrisi gibi birçok parametre oluşturulacak kaplamanın özelliklerinin ayarlanmasında rol oynayan önemli faktörlerdir. Biz de bu çalışma öncesi yukarıdaki parametrelerden bazılarının denemeleri yapılmış ve uygun parametreler belirlenmiştir. Aşağıda laboratuvarımızda bulunan ve deneyleri gerçekleştirdiğimiz el yapımı püskürtme sisteminin şematik bir çizimi bulunmaktadır.



Şekil 1. Kimyasal Püskürtme Sistemi

Bu çalışmada öncelikli amacımız filmleri başarılı bir şekilde büyütebilmek ve sonrasında kristal ve morfolojik yapısını detaylı bir şekilde analiz

etmektir. Bu yüzden de kristal yapısını olumlu bir şekilde etkilemesi için amorf bir altlık yerine kristal geometrisi CdO ya yakın olan bir polikristal

altlık seçmektir. Bu sebepten ötürü yapılan çalışma da daha düzgün kristalleşmesine katkı sağlayacak olan İndiyum kalay oksit (ITO) altlıklar kullanılmıştır. ITO altlık, büyütme işlemi gerçekleştirilmeden önce ultrasonik banyoda sırasıyla etanol ve sonrasında deiyonize su (DI) içerisinde beşer dakika süreyle temizlenmiştir.

Gümüş (Ag) katkılı CdO ince ince filmlerin sprej tekniği ile büyütülmesi sürecinde püskürtme burnu ile altlık arasındaki mesafe 25 cm olarak belirlenmiştir. Nozzle sprej açısı 45° olarak sabitlenerek ince filmlerin büyütülmesi sürecinde büyütme hızı 2,5 ml/ dk olarak ayarlanmıştır. Her bir püskürtme için çözelti miktarının 100 ml olacak şekilde hazırlanmıştır. Filtrelenmiş hava basıncı 1-1.5 bar olarak ayarlanmış ve taşıyıcı gaz olarak kullanılmıştır. Homojen bir film büyütebilmek için altlıkların üzerinde bulunduğu döner levhanın 20 rpm/dk hızla dönmesi sağlanmıştır. Cd kaynağı olarak 0,1M kadmiyum nitrat ve gümüş kaynağı olarak %0,1, %0,5, %1, %2, ve %3 oranlarda 0,1M gümüş nitrat kullanılmıştır. Bu sayede Ag katkılı CdO filmleri ITO altlık üzerine ince film olarak büyütülmüştür. Numuneler en düşük katkı miktarından başlayarak sırasıyla CdOA1(%0.1Ag), CdOA2(%0.5Ag), CdOA3(%1Ag), CdOA4(%2Ag) ve CdOA5(%3Ag) olarak isimlendirilmiştir.

2.1. Analizler

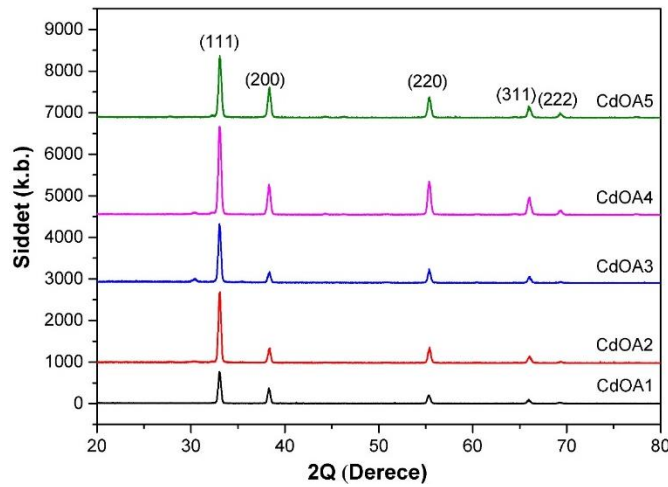
2.1.1. Fiziksel yöntemler

Büyütülen ince filmlerin yapısal özellikleri incelemesinde X-ışını kırınım desenlerinden faydalanılmıştır. Panalytical Empyrean X-Ray

difraktometresi aracılığı ile X-ışını kırınım deseni incelemesi, $20^\circ \leq 2\theta \leq 60^\circ$ açı aralığında, oda sıcaklığında 0.05°'lik adım aralıklarında tarama yapılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey morfolojileri Zeiss-Sigma300 marka SEM ile görüntüleri alınarak incelendi.

3. Bulgular

Büyütülen İnce filmlerin, X-ışını kırınımı ölçümleri oda sıcaklığında alınmış ve Şekil 1 üzerinde gösterilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde Ag katkılı olarak büyütülen CdO ince filmlerinin, 20 ve 90 derece arasında gerçekleştirilen 2θ değeri taraması sonucunda 03-065-2908 ICSD kart numarasına göre kübik kristal yapıda olduğu tespit edilmiştir. Şekil 1'den görüldüğü gibi Ag katkılanmış CdO filmlerinin XRD açıları ve düzlemleri yaklaşık olarak sırasıyla; 33° ve (111), 38° ve (200), 55° ve (220), 66° ve (311) ile 69° ve (222) şeklindedir. 03-065-2908 ICSD standardı kart numarasına göre katkılama işlemi yapılmamış olan CdO filmlerinin XRD pikleri ile benzer olan ve Şekil 1'de yer almakta olan pik değerleri bize Ag katkılamanın CdO ince filmlerinin kristal yapısında değişikliğe neden olmadığı ve mevcut yapı ile iyi uyum sağladığını göstermektedir. Bu durum ise yapıda gümüş katkının oksitlenmesi sonucu oluşabilecek istenmeyen yapıların meydana gelmediğini sonucunu göstermektedir. Buna göre Ag katkılama hem ilave bir pik oluşturmamış hem de kübik kristal yapının bozulmasına neden olmamıştır. Ayrıca Tablo 1'den görüldüğü gibi 2θ değerlerinde dahi katkılama artması ile birlikte açı değerlerinde önemli bir değişim olmamıştır yani piklerde farklı miktardaki Ag katkısı ile kayma gerçekleşmemiştir.



Şekil 2. Ag katkılı CdO ince filmlerinin XRD ölçümü grafiği

Baskın pikin olduğu (111) düzlemi kullanılarak numunelerin ortalama kristal boyutu (D) Denklem

1'de yer alan Scherer formülü kullanılarak hesaplanmıştır;

$$D = \frac{0.94\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Bu denklemde D, kristal boyutu, β maksimumun yüksekliğin yarı genişliği (FWHM), θ yansıma veren düzlemlerin maksimum pikinin açđ değeri ve λ , dalga boyu (0.15406 nm)'dir. Denklem 1 yardımı ile yapılan hesaplamalar sonucunda Ag katkılı CdO ince filmlerinin kristal boyutları Tablo 1'de görüldüğü gibi baskın pik olan (111) düzlemi için ortalama kristal boyutu 23 nm bulunmuş ve Tablo 1 ve Şekil 2' de gösterilmiştir. Numunelerin tercihi yönelimi olan (111) düzlemine göre CdOA1, CdOA2 ve CdOA3 ün kristal boyutu 23nm iken CdOA4 20 nm ve CdOA5 için ise 22 nm olduğu görülmektedir. Böylece Ag katkısı ile CdO ince filmlerinin kristal yapısında ciddi değişim oluşmadığı düşünülebilir. İskenderoğlu ve Güney'in 2018 yılında yaptıkları çalışmada Ag katkılı CdO filmler cam altlık üzerine başka bir yöntem kullanarak filmleri büyütmeşler onlarda ortalama olarak filmlerin tanecik boyutlarını 24 nm

olarak bulmuşlardır. Buradan hareketle farklı tekniklerle büyütülen filmlerin tanecik boyutunda önemli bir katkısının olmadığını söyleyebiliriz (İskenderoğlu ve Güney, 2018).

Tablo 1'de gösterilmiş olan büyütülen ince filmlerin düzlemler arası uzaklığı (d) Denklem 2'de gösterilen Bragg kanunu kullanılarak hesaplanmıştır.

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (2)$$

Hesaplamalar sonucunda çıkan d değerlerinin 03-065-2908 numaralı ICSD standart kartı ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Bu sonuçlar püskürtme tekniği ile büyütülen Ag katkılı CdO numunelerinin literatürde yer alan diğer çalışmalarda yer alan değerlerle uyuşmakta olduğunu ve üretilen ince filmlerin yüksek kalitede olduğu anlaşılmaktadır.

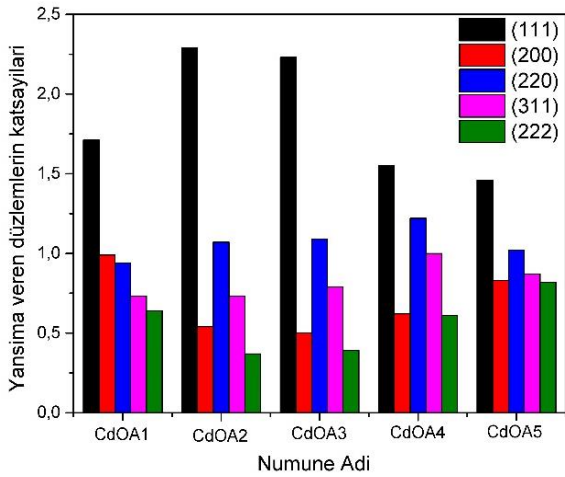
Tablo 1. Ag katkılı CdO filmlerin hkl, 2 θ , FWHM, I, TC, D, d, a, V, değerleri

Numune Adı	Düzlem (hkl)	2 θ (°)	FWHM (°)	I _o	Şiddet	I	I/I _o	Tc	D (nm)	δ x10 ¹²	ϵ	d ₀ (Å)	d (Å)	a (Å)	a _{avg} (Å)	V (Å) ³
CdAg1	(111)	33.01	0.333	100	751	100	1.00	1.71	23	1.91	0.00409	2.712	2.711	4.69625	4.695	103.510
	(200)	38.30	0.323	86	374	50	0.58	0.99	23	1.85	0.00398	2.349	2.348	4.69634		
	(220)	55.27	0.344	48	198	26	0.55	0.94	20	2.39	0.00477	1.661	1.661	4.69720		
	(311)	65.96	0.388	31.2	100	13	0.43	0.73	17	3.39	0.00604	1.416	1.415	4.69333		
	(222)	69.30	0.339	13.6	38	5	0.37	0.64	19	2.69	0.00550	1.355	1.355	4.69324		
CdAg2	(111)	33.05	0.336	100	1683	100	1.00	2.29	23	1.95	0.00413	2.712	2.708	4.69072	4.689	103.093
	(200)	38.33	0.300	86	340	20	0.23	0.54	25	1.60	0.00370	2.349	2.346	4.69281		
	(220)	55.44	0.303	48	378	22	0.47	1.07	23	1.86	0.00421	1.661	1.656	4.68393		
	(311)	66.05	0.391	31.2	168	10	0.32	0.73	17	3.45	0.00610	1.416	1.413	4.68766		
	(222)	69.36	0.278	13.6	37	2	0.16	0.37	23	1.81	0.00451	1.355	1.354	4.68969		
CdAg3	(111)	33.05	0.332	100	1432	100	1.00	2.23	23	1.90	0.00408	2.712	2.708	4.69072	4.689	103.097
	(200)	38.36	0.330	86	275	19	0.22	0.50	23	1.94	0.00407	2.349	2.345	4.68927		
	(220)	55.36	0.323	48	336	23	0.49	1.09	22	2.11	0.00448	1.661	1.658	4.69017		
	(311)	66.07	0.390	31.2	157	11	0.35	0.79	17	3.43	0.00608	1.416	1.413	4.68640		
	(222)	69.38	0.264	13.6	34	2	0.17	0.39	25	1.63	0.00429	1.355	1.353	4.68851		
CdAg4	(111)	33.05	0.376	100	2123	100	1.00	1.55	20	2.44	0.00462	2.712	2.708	4.69072	4.690	103.152
	(200)	38.32	0.390	86	734	35	0.40	0.62	19	2.70	0.00481	2.349	2.347	4.69399		
	(220)	55.36	0.390	48	801	38	0.79	1.22	18	3.08	0.00541	1.661	1.658	4.69017		
	(311)	66.05	0.433	31.2	429	20	0.65	1.00	15	4.23	0.00675	1.416	1.413	4.68766		
	(222)	69.41	0.418	13.6	114	5	0.39	0.61	16	4.10	0.00679	1.355	1.353	4.68673		
CdAg5	(111)	33.06	0.342	100	1484	100	1.00	1.46	22	2.02	0.00420	2.712	2.707	4.68934	4.690	103.165
	(200)	38.37	0.394	86	730	49	0.57	0.83	19	2.76	0.00486	2.349	2.344	4.68810		
	(220)	55.41	0.385	48	497	33	0.70	1.02	18	3.00	0.00534	1.661	1.657	4.68627		
	(311)	65.97	0.354	31.2	275	19	0.59	0.87	19	2.82	0.00552	1.416	1.415	4.69270		
	(222)	69.29	0.360	13.6	114	8	0.56	0.82	18	3.04	0.00584	1.355	1.355	4.69383		

Ag katkılı CdO ince filmlerin texture coefficient (TC(hkl)) değerleri XRD sonuçlarından aşağıdaki formül kullanarak hesaplanmış ve tablo 1 de verilmiştir.

$$TC(hkl) = \frac{I(hkl)/I_0(hkl)}{N^{-1} \sum_N I(hkl)/I_0(hkl)} \quad (3)$$

Bu denklemde I (hkl) değeri ölçülen pik şiddeti, I₀ (hkl) ise ICSD data karttan alınan standart şiddet ve N is yansıma veren düzlem sayısıdır [1]. Ag katkısının artmasıyla numunelerin tercihi yönelimi değişmemekte ve (111) olarak görülmektedir. Güney ve İskenderoğlunun 2021 yılında yaptıkları çalışmada da Ag katkılı CdO filmler optik cam üzerine büyütülmüş ve tercihi yönelimlerinin (200) olduğunu bulmuşlardır (Güney ve İskenderoğlu, 2021). Buradan hareketle altlık seçiminin tercihi yönelimi belirleme de önemli bir parametre olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca Aşağıdaki Şekil 3'de de görüldüğü üzere bütün ince filmlerin tercihi yönelimi olan (111) düzleminin TC değeri olması gerektiği gibi 1 den büyüktür.



Şekil 3. Ag katkılı CdO filmlerin TC değişimi

Numunelerin önemli kristal parametlerinden biri olan ince filmlerin düzlemler arası mesafesi (d) Bragg yasası ile hesaplanmış ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Table 1 de hesaplanan d değerleri ile ICSD kart numarası 03-065-2908 olan standart karttaki değerleri ile karşılaştırılmıştır. Kübik CdO yapısının Latis sabiti (a) ve birim hücrenin hacmi (V) aşağıda verilen formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (4)$$

$$V = a^3 \quad (5)$$

Tablo 1'de görülebildiği üzere, a' nin ortalama değerleri sırasıyla 4.695, 4.689, 4.689, 4.690 ve 4.690 Å and V' nin ortalama değerleri 103.510, 103.093, 103.097, 103.152 ve 103.162 Å³ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, ICSD kartındaki kübik CdO yapıları için standart verilerle uyumludur. Bütün bu hesaplamalar CdO in başarılı bir şekilde büyütüldüğünü de göstermektedir.

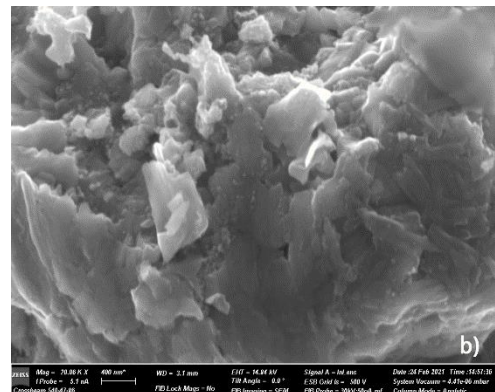
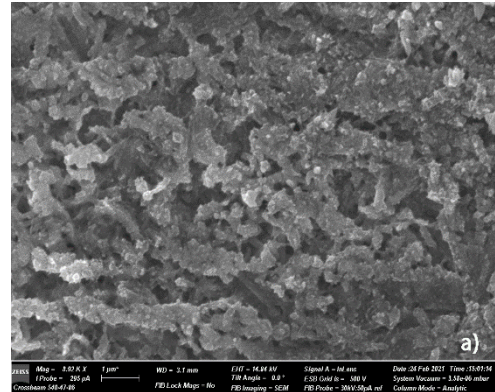
Filmlerin dislokasyon yoğunluk (δ) değerleri ile mikrozorlanma (ε) değerleri aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmış ve Tablo 1 de paylaşılmıştır.

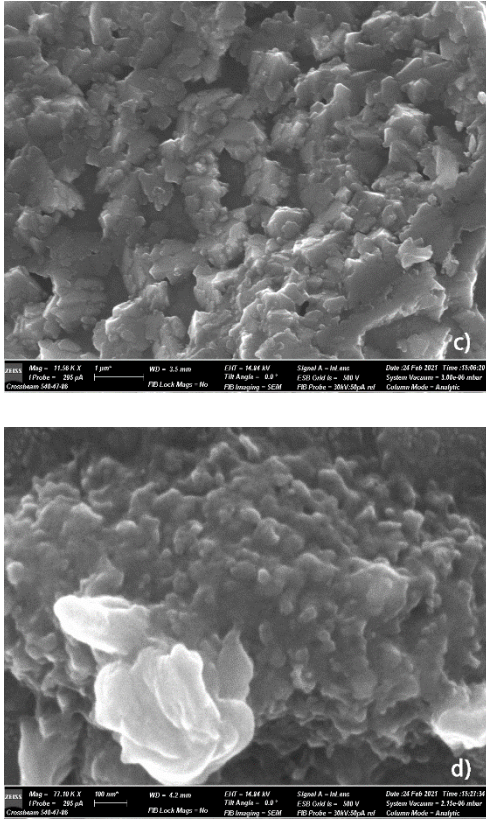
$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (6)$$

$$\varepsilon = \left(\frac{1}{\sin\theta} \right) \left[\left(\frac{\lambda}{D} \right) - (\beta \cos\theta) \right] \quad (7)$$

bu denklemde D kristal boyutu, β radyan olarak yansıma veren düzlemin pik şiddetinin maksimum yüksekliğinin yarısının genişliği ve λ ise X ışınının dalga boyudur (λ=1.5418 Å).

Tablo 1'i incelediğimizde en düşük dislokasyon yoğunluğu değerleri için CdOA1 ve CdOA2 filmlerinde (200) düzlemine ait olduğu CdOA3 filmi için (222) düzleminde ve CdOA4 ve CdOA5 için ise (111) düzlemlerine ait olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, farklı Ag katkısının CdO'nun kristallik derecesinde önemli bir farklılaşmaya neden olmadığını da gösterir.





Şekil 4. a) ve b) CdOA1, c) ve d) CdOA5 numunelerinin SEM görüntüleri

İnce filmlerin birçok özelliğinde önemli etken olan SEM görüntüleri, Ag katkı miktarının değişiminin etkisini gözlemlemek için alınmış ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Yüzey morfolojisinin Ag katkı oranına göre değişimini araştırmak için farklı büyütmelerdeki CdO: Ag ince filmlerin SEM görüntüleri analiz edilmiş ve en az katkı miktarı ile en fazla katkı miktarının görüntüleri Şekil 4'de gösterilmektedir. Şekil 4'de Ag katkısı arttıkça numunelerde yüzey morfolojilerinin değişiminde de XRD sonuçlarını doğrulayan şekilde önemli bir değişiklik olmadığı da açıkça görülmektedir. Şekli 4'de Ag katkılanmış ince filmlerin XRD verilerine göre CdO yapısı içerisinde Ag miktarının değişimine rağmen kübik yapılarının olduğu fakat SEM görüntülerinde bu kübik yapılar tetragonal bir kristal yapısına sahip olan ito altlıklar üzerinde bir araya geldiklerinden köşeli yapıları oluşturduğu gözlenmektedir. Ayrıca bu yapıların da Ag katkısı ile birlikte daha küçük parçalara ayrıldığı düşünülmektedir.

4. Tartışma ve sonuçlar

Bu çalışmamızda gümüş (Ag) katkılı CdO filmleri püskürtme tekniği ile ince film olarak başarılı bir şekilde büyütülmüş, XRD ve SEM aracılığı ile morfolojik ve yapısal özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar analiz edildiğinde püskürtme tekniği ile

büyütülen numuneler kübik kristal yapıda olduğu ve yüzey morfolojisinin de Ag katkı miktarının değişimi ile önemli ölçüde değişmediği sergilenmiştir. Ayrıca XRD verilerinden yaptığımız hesaplamalarla numuneye ait birçok özelliğin detaylı olarak incelenmesi sağlanmış ve katkı miktarının değişiminin etkisi incelenmiştir.

Kaynaklar

- Aksoy, S., Caglar, Y., Ilcan, S. and Caglar, M. (2009). Effect of heat treatment on physical properties of CdO films deposited by sol-gel method. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(12), 5191-5195, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.09.057>
- Ali, O. (2017). Study of Structural, morphological and optical properties of pure CdO and Ag: CdO doped thin films on glass substrates with high relatively Ag concentrations (2.5%, 5% 10% and 15%) prepared by Sol-Gel method, *Journal of Applied Physics*, 9, 1-8. <https://doi.org/10.9790/4861-0901030108>
- Dakhel, A. A. and Henari, F. Z. (2003). Optical characterization of thermally evaporated thin CdO films. *Crystal Research and Technology*, 38(11), 979-985, <https://doi.org/10.1002/crat.200310124>
- Ferro, R., Rodriguez, and J. A. (1999). Some physical properties of F-doped CdO thin films deposited by spray pyrolysis, *Thin solid films*, 347(1-2), 295-298.
- Gupta, R. K., Ghosh, K., Patel, R. and Kahol, P. K. (2009). Highly conducting and transparent Ti-doped CdO films by pulsed laser deposition, *Applied Surface Science*, 255(12), 6252-6255, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2009.01.091>
- Güney, H. ve İskenderoğlu, D. (2017). SILAR yöntemi ile büyütülen katkısız ve Zn katkılı CdO yar iletken ince filmlerinin yapısal, optik ve morfolojik özelliklerinin incelenmesi, *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(6), 1-1. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.312291>
- Güney, H. and İskenderoğlu, D. (2021). CdO: Ag semiconductor nanowires grown by spray method, *Journal of Alloys and Compounds*, 865 158924, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.158924>
- İskenderoğlu, D. ve Güney H. (2018). CdO: Ag ince filmlerinin SILAR tekniği ile büyütülmesi ve karakterizasyonu, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* (2019), 9 (1), 128-135, <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.360478>

Li, X., Young, D. L., Moutinho, H., Yan, Y., Narayanswamy, C., Gessert, T. A. and Coutts, T. J. (2001). Properties of CdO thin films produced by chemical vapor deposition, *Electrochemical Solid-State Letters*, 4(6), C43-C46.

Salunkhe, R. R. and Lokhande, C. D. (2008). Effect of film thickness on liquefied petroleum gas (LPG) sensing properties of SILAR deposited CdO thin films, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 129(1), 345-351, <https://doi.org/10.1016/j.snb.2007.08.035>

Investigation of the usability of essential oils in diesel engines as a new biodiesel source

Yeni bir biyodizel kaynağı olarak uçucu yağların dizel motorlarda kullanılabilirliğinin araştırılması

Erdal ÇILĞIN*^{1,a}

¹Dicle University Vocational School of Technical Sciences Department of Motor Vehicles and Transportation Technologies, 2100, Diyarbakir

• Geliş tarihi / Received: 13.12.2020 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 13.02.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 25.03.2021

Abstract

This article has focused on essential oils as alternative fuels and fuel additives. The essential oil is obtained from *Salvia Candidissima* plant. While a Clevenger type apparatus was used to determine the oil yield of *Salvia Candidissima* plant, a retort was produced for the bulk oil to be used in the experiments. The compounds of the obtained oil were determined by Gas chromatography / Mass spectrometry (GC / MS) and the essential oil was converted into biofuel. The produced biofuel was added 5% by volume to the reference diesel fuel (DF) and mixed fuel (SB-5) was formed. Later, SB-5 and DF fuels were tested at 1500 fixed cycles and different loads, and emission and combustion data were obtained. As a result of the experiment, effective decreases in Carbon Monoxide (CO) and Hydrocarbon (HC) emissions and increases in NOx emissions were observed with SB-5 fuel mixture. In addition, higher combustion data were obtained with SB-5 fuel mixture than DF fuel.

Keywords: Biofuels, Essential oils, Diesel engines, Emission and combustion

Öz

Bu makale, alternatif yakıt ve yakıt katkı maddesi olarak uçucu yağlar üzerine yoğunlaşmıştır. Uçucu yağ Salvia Candidissima, bitkisinden elde edilmiştir. Salvia Candidissima, bitkisinin yağ verimini belirlemek için Clevenger tipi bir aparat kullanılırken, deneylerde kullanılacak kütleli yağ için imal edilmiştir. Elde edilen yağın bileşikleri Gaz kromatografisi / Kütle spektrometresi (GC / MS) ile belirlenmiş ve uçucu yağ biyoyakıtı dönüştürülmüştür. Üretilen biyoyakıt referans dizel yakıtına (DF) hacimsel olarak % 5 ilave edilmiş ve karışım yakıt (SB-5) oluşturulmuştur. Daha sonra, SB-5 ve DF yakıtları 1500 sabit devirde ve farklı yüklerde test edilmiş, emisyon ve yanma verileri alınmıştır. Deney sonucunda SB-5 karışım yakıtı ile Karbonmonoksit (CO) ve Hidrokarbon (HC) emisyonlarında etkili düşüşler, NOx emisyonlarında artışlar gözlemlenmiştir. Ayrıca SB-5 yakıt karışımı ile DF yakıtından daha yüksek yanma verileri elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyoyakıtlar, Uçucu yağlar, Dizel motorlar, Emisyon ve yanma

*^a Erdal ÇILĞIN; cilgin_erdal@hotmail.com, Tel: (0532) 350 46 46, orcid.org/0000-0002-9957-6266

1. Introduction

For humanity, energy is one of the indispensable components. This constitutes the base for economic growth. As the rate of the world population rises with each passing year, energy demand increases (Qiul ance et al., 2011). Fossil fuels account for about 87 per cent of the energy resources used. 70 percent of the fossil fuel reserves are coal, 14 percent oil, 14 percent natural gas and 2 percent other fossil resources (BP, 2008). The storage quantity of current reserves will decrease dramatically within an average of 100 years, according to the study carried out in conjunction with the consumption rates of fossil resources. Furthermore, taking into account the CO₂ emissions of fossil fuels, environmental pollution is expected to rise by 50 per cent in 2030 (Stigka et al., 2014). The rapid decline in oil resources in recent years, the steady increase in oil prices and the use of fossil fuels Adverse environmental impacts induced by the quest for energy have been geared towards renewable sources of energy. In the study and production of renewable energy sources, various approaches have been used. Renewable "Biomass Energy" is of significant importance among these approaches. Materials of animal and plant origin are in the class of biomass energy resources (Kralova and Sjöblom, 2010). An alternative fuel derived from oils of vegetable or animal origin is biodiesel, which is the sub-subject of biomass energy within renewable energy sources. It is simpler to generate biodiesel fuel than other renewable sources of energy (such as wind and solar energy). Its production is becoming widespread day by day because of its low cost. Furthermore, biodiesel, a sustainable energy form, creates new business areas, particularly in rural areas, by enabling industry, agriculture and the environment to cooperate (Atabani et al., 2013). However, 81% of biodiesel was obtained from vegetable oils (Oecd/Fao, 2016). Among the vegetable oils, oilseeds such as canola (rapeseed), sunflower, soybean, safflower, cotton, palm and jatropa are the most used. This situation enables the allocation of agricultural lands to oilseed crops and causes global food price increase, high water consumption and biodiversity loss. Therefore, in the search for new and renewable biodiesel resources, natural and self-growing plants have been studied. Among these, salvia plant species stand out. Salvia species are wild perennial plants that are highly resistant to hot and dry conditions and contain essential oil. Hoseini et al., (2017) explained in their study that the high oxygen content of biodiesel obtained from the Salvia macrosiphon plant provides significant general

improvements in the combustion reaction, especially in B20 (20% biodiesel by volume and 80% diesel fuel by volume). On the other hand, Gholami et al., (2019) investigated the biodiesel potential of Salvia leriifolia plant in their study. Salvia leriifolia stated that it can grow in harsh climatic conditions and poor quality soils due to its high salt and drought tolerance and therefore it is an ideal biodiesel production source in all countries facing water scarcity and low fertile soil problems. In this study, Candidissima was investigated in Salvia species. Salvia Candidissima is a natural species that grows spontaneously even in areas not suitable for agricultural activities. It grows widely in our country.

2. Meterial method

2.1. The composition of essential oils

Essential oils are found in many parts of the plant and rarely in their stems and shells. 90% of the compounds found in essential oils are terpenoid compounds (Tisserand and Young, 2014; Başaran, 2003; September, 2011). Other compounds are phenolcarbonic acids, phenylpropane derivatives, sulfur-containing compounds, unbranched hydrocarbides and derivatives, simple phenols and ethers, short-chain fatty acids and nitrogenous compounds (Tisserand and Young, 2014). Terpenes; The essential oil contains alcohol, ester, oxide, aldehyde, ketone and ether. These are grouped as acyclic, monocyclic or bicyclic (Antunes, 2004). The general chemical formula of many natural terpenoid hydrocarbons is (C₅H₈)_n. The classification related to the C number or n value (number of bound isoprene units) is as shown in Table 1. Each class in the table is divided into subgroups according to the number of rings in the structure. While monoterpene acyclic terpenoids are non-ring structures, monocyclic terpenoids are one-ring and bicyclic terpenoids are two-ring structures. Many terpenoids are colorless, fragrant, lighter than water, but there are also those in solid form such as camphor. They are all soluble in organic solvents and are generally insoluble in water. Most are optically active. Terpenoids are the most important group in essential oil composition. When the literature is analyzed, although the researchers have addressed terpenes in the first studies on the subject, this group is now called monoterpene hydrocarbons. Essential oils contain many chemical structures. For example, limonene, linalol and pinens are found in many essential oils. However, it has been observed that each essential oil is dominated by different components. It has been reported that the essential

oil content of even the same plants varies (Akgül, 2011; Schulz et al., 2003; Çelik et al., 2014). Volatile compounds, which contain the quality of essential oil, determine. In the composition of an essential oil, sometimes there may be hundreds of large and small compounds. These compounds can be identified by being separated from each other by an advanced technique called Gas Chromatography / Mass Spectrometry (GC / MS).

Table 1. Terpenoid classification

Catomic number	n value	Terpenoid class
5	1	Hemiterpenoidler (C ₅ H ₈)
10	2	Monoterpenoidler (C ₁₀ H ₁₆)
15	3	Seskiterpenoidler (C ₁₅ H ₂₄)
20	4	Diterpenoidler (C ₂₀ H ₃₂)
25	5	Sesterpenoidler (C ₂₅ H ₄₀)
30	6	Troterpenoidler (C ₃₀ H ₄₈)
40	8	Tetraterpenoidler (C ₄₀ H ₆₄)
>40	>8	Politerpenoidler (C ₅ H ₈) _n

2.2. Properties of essential oils

1. Essential oils are usually liquid at room temperature.
2. The stain left when it is dropped on the paper is not permanent as in fixed oils, it will disappear over time.
3. Essential oil is mostly colorless when distilled.
4. Essential oils are resinized with long-term storage, light and oxygen effects.
5. Its specific weight ranges from 0.84 to 1.18.
6. The boiling points of essential oils are high (150-300 °C).
7. Essential oils have low water solubility (1: 200 or less).
8. Essential oils are optically active.
9. The specific degree of refraction may vary even at essential oils from the same plant at different times.

The composition of essential oils can vary in proportion (Özler et al., 2009; Qudah et al., 2014) Table 2. Compared with other biodiesel sources of essential oil in terms of density and viscosity values.

Table 2. Comparison of density and viscosity values (Akader, 2006; İlkılıç and Öner, 2017).

Name of vegetable oil	Specific mass (g / ml)	Kinematic viscosity (mm ² / s)
Diesel fuel	0.86	2.9
Sunflower oil	0.92	34.9
Soy oil	0.92	36.4
Cotton oil	0.91	37.4
Peanut	0.91	37.2
Rapeseed oil	0.92	39.0
Flax oil	0.92	27.2
Sesame oil	0.91	35.5
Salvia Candidissimada	0.90	2.17

2.3. Essential oil plant

Salvia Candidissima (Figure 1. /Taxon Page) is one of the important essential oil families, Lamiaceae. It is stated that the approximate number of species is 1000 (Bayram, 2001). There are 95 species in Turkey (İpek et al., 2012). 51 of them are endemic (Özler et al., 2009). Usually, Greece, Iraq, Iran and Turkey are in some regions (Qudah et al., 2014). It is a perennial shrub in the form of a perpendicular trunk 30-60 cm tall, branching from the top (Alizadeh, 2013). It is found in rocky limestone and schist slopes. It generally grows at an altitude of 700-2000 m.



Figure 1. Salvia Candidissima

Table 3. Taxon page (Tubives, 2020).

Family	Lamiaceae	
Genus	Salvia L.	
Taxon	Salvia candidissima VAHL subsp. occidentalis HEDGE	
Taxonomic Hierarchy		
Kingdom	Plantae	
Subkingdom	Tracheobionta	
Division	Magnoliophyta	
Class	Magnoliopsida	
Class	Magnoliopsida	
Subclass	Asteridae	
Order	Lamiales	
Family	Lamiaceae	
Family	Lamiaceae	
Genus	Salvia	
Species	Salvia candidissima VAHL	
General Taxon Information		
Life	:	perennial
Structure	:	Weed
Life Form	:	
Blooming	:	5-9
Habitat	:	Rocky volcanic and limestone rocks, chalk hills, field edges
Endemik	:	Not endemic
Element	:	Iran-Turan
Turkey Distribution	:	Terrestrial and West. Anatolia
General Distribution	:	Greece, Albania

2.4. Essential oil production by hydrodistillation

Essential oil was made from the study plant by hydro distillation method. A retort working with this method was manufactured. (Figure 2.). With this method, the oil extraction steps are first put into the retort after the plant mass is cleaned and sorted. In the retort cauldron, water and plant mass are boiled together. The water evaporates and carries the oil molecules in the plant to the cooler. In the cooler, the fat molecules condense and separate from the water. The amount of essential oil obtained is expressed in volumes. Water distillation gives better results with fine particle materials (Edoq, 2000).



Figure 2. Steps of obtaining oil from plant biomass.

2.5. Essential oils G_C - M_S measurements

G_C - M_S is among the most important and common techniques for separating essential oils. The separation of the components depends on the polarity and volatility of the analytes. The principle of G_C is based on the differential partitioning of solutes between the mobile and stationary phase. It is a very simple, reliable method, and can be applied to separate volatile substances stable at temperatures up to 350-400 °C. If the sample or mixture is not volatile, the sample must be properly derivatized to make it volatile. G_C - M_S analysis was performed for component determination of essential oil. For this purpose, analysis was performed by diluting 100 µl essential oil with 5 ml hexane. The analysis of the essential oil components was carried out by Trace DSQ II (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) gas chromatography with flame ionization detector and autosampler. The separation was made in a 60 m long, 0.25 mm inner diameter, film thickness 0.25 µm Tg-wax column. The transport of the compounds in the column was achieved with helium (1 ml / min) gas. Oven temperature increased by 5 °C / min after being waited for 10 minutes at 40 °C and reached 240 °C at this temperature and 12 minutes at this temperature. It heated. The injection was carried out in split mode (1:20), at 250 °C, in a volume of 1 µl. Ion source temperature is 230 °C. Mass Spectrometry 35-350 m / z atomic mass units were carried out in the scanning range by electron impact ionization. Mass

spectral comparisons were made using NIST 2005 and Wiley 9 mass spectrum libraries to identify the compounds. Analysis results were obtained in relative %. C8-C20 nalkan standards (Mix no.

04070, Sigma – Aldrich, St. Louis, MO, USA) were used to calculate the retention indices (RI) of the samples. Plant gas chromatography (Figure 3).

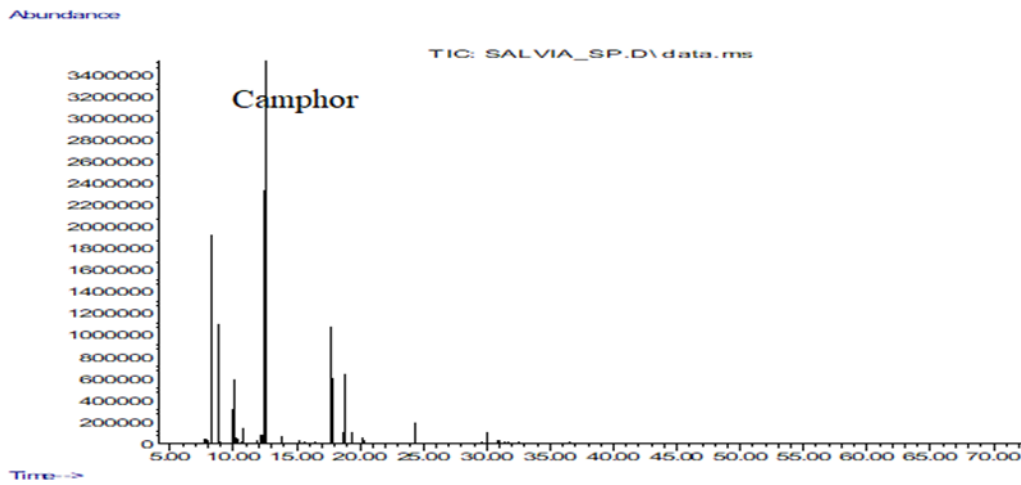


Figure 3. Gas chromatography (Main components of essential oil: camphor (28.94%), bornyl acetate (12.80%), borneole (9.44%), beta-cadinene (5.88%), alpha-caryophyllene (5.40%), 1,8-cineole (5.15%) (Çilgin, 2020)

2.6 Converting essential oil to fuel

Traditional production of biodiesel fuel; It is carried out by chemical transesterification, where short reaction time and high efficiency are obtained. Transesterification, also called alcohol-free, is the reaction of a fat or oil with an alcohol to form ester and glycerol (Figure 4.). In this reaction, more methanol and ethanol are preferred as alcohol due to their low cost, but propanol, butanol and amyl alcohol are also among the alcohols used (Fukuda et al., 2001). Transesterification reaction; It can usually be catalyzed by alkalis such as NaOH, KOH, acids such as sulfuric acid or lipase enzymes to increase the reaction rate and efficiency (Pizarro and Park, 2003). In this study, vegetable oil was heated up to 60 ° C in a magnetic heater.

Then methanol-potassium hydroxide (KOH) mixture was added to the heated oil. The reaction took 2 hours. It was kept for an average of 48 hours for the completion of the transesterification reaction (İlkılıç et al., 2011). After the waiting was over, glycerin and biodiesel formed. Since the glycerin phase density was greater than the biodiesel phase density, the glycerin phase was taken from the bottom of the settling vessel. The alcohol-to-oil molar ratio was 5: 1, the conversion of the product was 97.6%. The viscosity value, which was 2.17 mm² / s after transesterification, decreased by 7.96% to 2.01 mm² /s. Density value was 0.90 g/ml, while 1.12 % decrease was 0.89 g/ml. The resulting biodiesel was added 5% by volume to diesel fuel and the mixture fuel obtained was expressed as SB-B5.

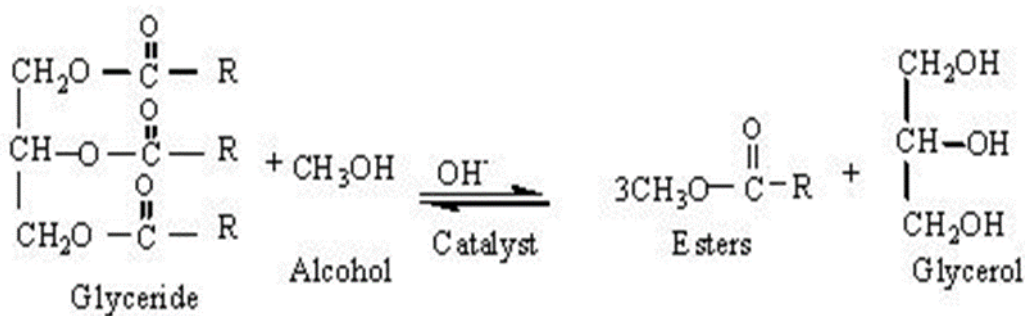


Figure 4. Transesterification of triglycerides with alcohols (Mutlubaş, 2016)

2.7. Experimental setup

Engine specifications used in the experiments Table.4 The device features used in the exhaust measurement are presented in Table.5 and the measurement device sensitivities are presented in Table.6.

Table 4. Specifications of the diesel engine.

Model	NWK22
Engine rated power @1500rpm	17kW
Engine cooling system	Water cooling
Intake system	Naturally aspirates
Engine model	4DW81-23D
Bore x stroke (mm)	85×100
Displacement (cm ³)	2400
Cylinder number	4
Combustion system	Direct injection
Compression ratio	17:1
Injector nozzle number	4

Table 5. Technical specifications of the capelec cap 3200.

HC	0-20000 ppm	±1ppm
CO ₂	0-20%	±0.1%
CO	0-15%	±0.001%
O ₂	0-21.7%	±0.01%
NO _x	0-5000ppm	±1 ppm

Table 6. The accuracies of the measurements and uncertainties of test device

Engine parameter	Measurement range	Accuracy
Cylinder pressure sensor	0-200 bar	≤ ±0.5%
Engine speed	0-12000 rpm	± 0.1 % [σ]
Fuel consumption	0.5-3000 g	± 0.5 g
HC	0-200000 ppm	± 1 ppm
CO ₂	0-20 %	± 0.1 %
CO	0-15 %	± 0.001 %
O ₂	0-21.7 %	± 0.01 %
NO _x	0-5000 ppm	± 1 ppm

3. Experiment results

3.1. Heat release relate

Figure 5 shows the heat release rate in the case of 7.04 kW load, Figure 6 shows the maximum heat release values of the experimental fuels in all load cases. Understanding the rate and process of heat release makes it easier for us to understand the internal combustion engine combustion process. When Figure 6 is examined, it is seen that the pre-ignition heat release values are below zero. Because the injected fuel takes heat from the environment and reduces the temperature of the environment in order to ignite before the ignition phase. At the end of the ignition delay period, the fuel burns suddenly and the heat release values are transferred to the positive area. As the volume expands at the end of the combustion process, the heat release rate gradually decreases. With the opening of the exhaust valves, the temperature drops suddenly and the heat release values are transferred back to the negative area. When Figures 5 and 6 are examined, values compatible with the general burning tendency appear. In each stage loading of SB-5 fuel, DF fuel values occurred later as crank angle but the peak values were higher.

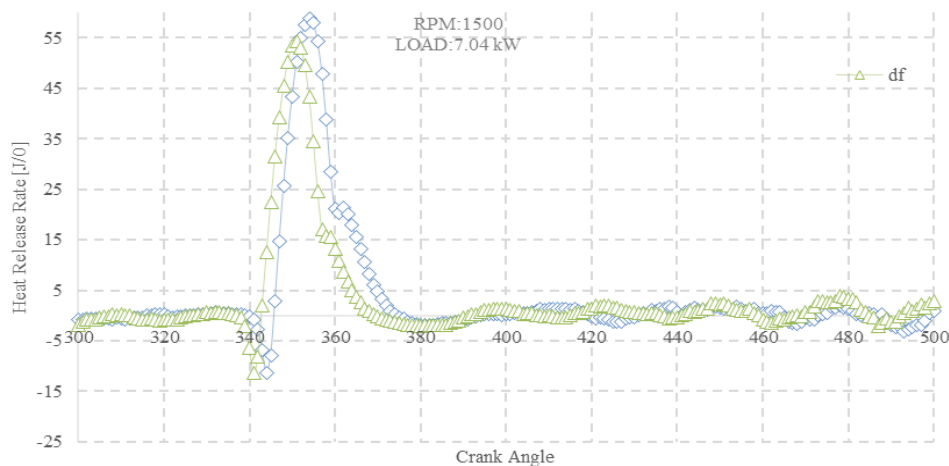


Figure 5. Changes in heat release values depending on the crank angle

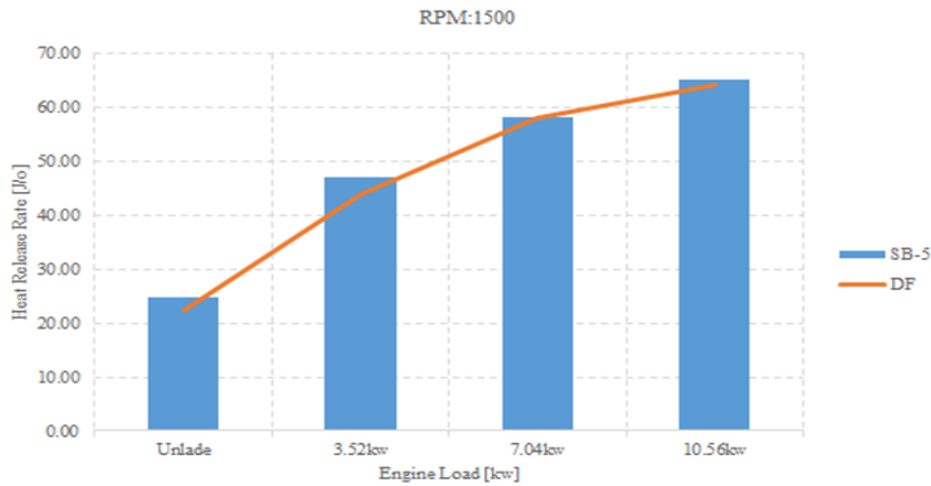


Figure 6. Maximum heat release changes depending on the crank angle

3.2. Average gas temperatures

Figure 7, shows average gas temperature values under 7.04 kW load, Figure 8, shows the maximum average gas temperature values of the experimental fuels in all load cases. When the average gas temperature values of the experimental fuels are

examined It is seen that the average gas temperatures obtained with vegetable oil based SB-5 blended fuel are higher than the DF reference diesel fuel. The higher oxygen concentration in the vegetable oil content compared to the DF reference fuel resulted in higher average gas temperatures (Sezer, 2016).

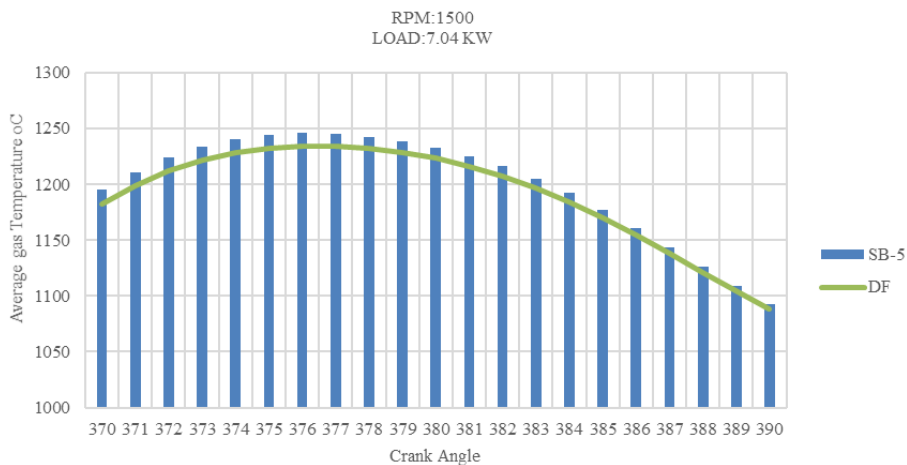


Figure 7. changes of gas temperature values depending on the crank angle [7.04 kw]

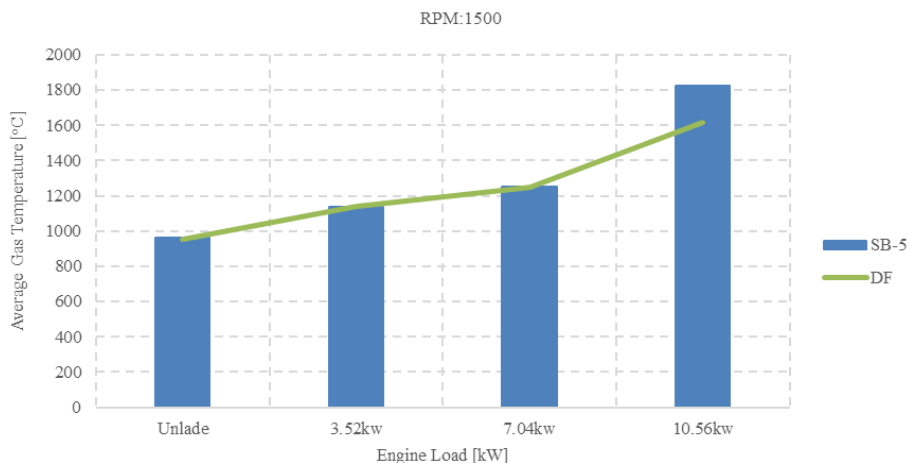


Figure 8. Maximum average gas temperatures depending on engine load.

3.3. Cylinderid gas pressure

The cylinder gas pressure values of the experimental fuels in the case of 7.04 kW load are given in Figure 9, obtained with the test results, and the maximum cylinder pressure values and crank angles of the test fuels at all loads are given in Figure 11. When Figure 9-10, is examined, it is

seen that the maximum cylinder gas pressure values of both test fuels (SB-5-DF) occur after the upper dead point. Despite the poor evaporation properties of vegetable oil-based blended fuels, SB-5 fuel produced higher values than DF fuel cylinder pressures due to both its high oxygen content and high hydrocarbon ratio (Türkcan et al., 2009; Yaldiz, 2002)

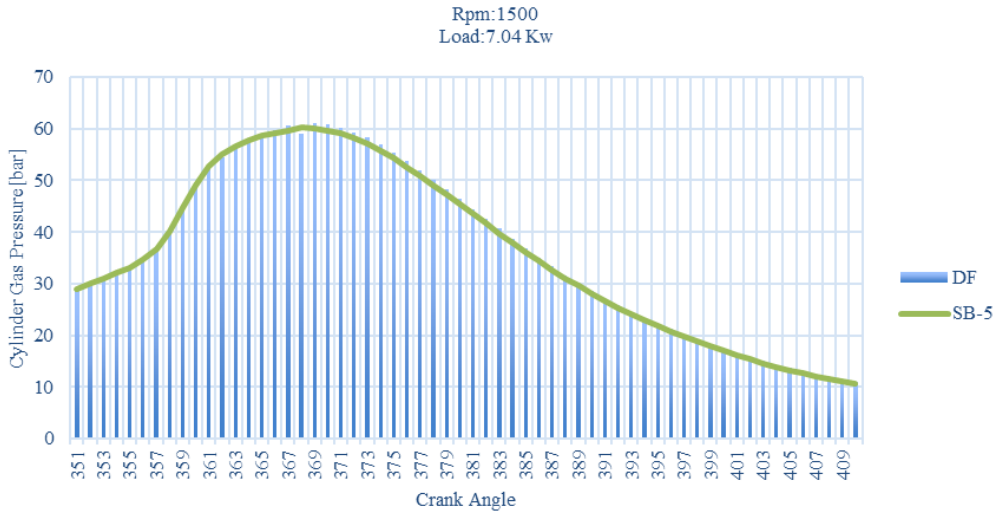


Figure 9. Cylinder pressure variation depending on the crank angle [7.04 kw]

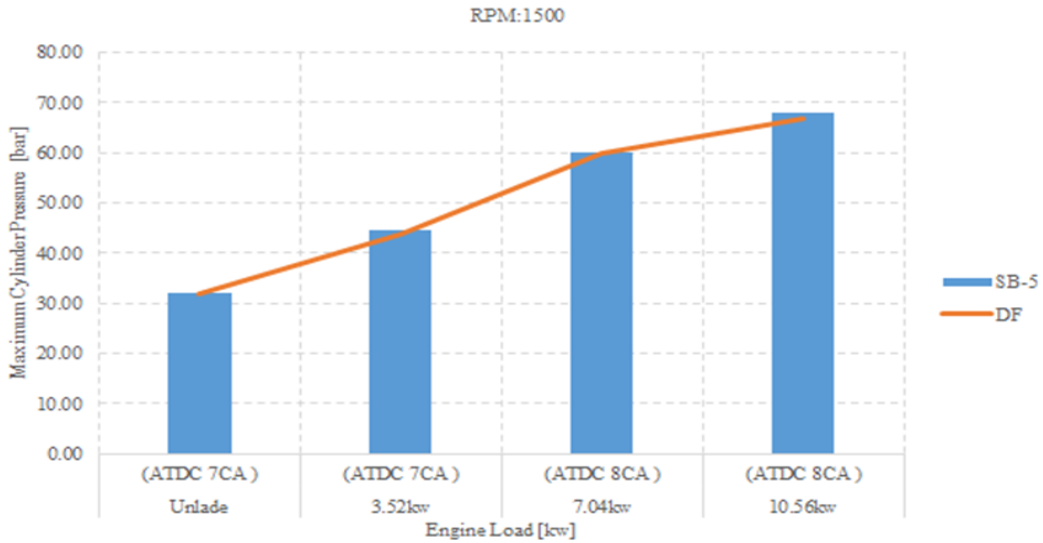


Figure 10. Maximum cylinder gas pressure variations depending on engine load.

3 4. The cumulative heat release

The cumulative heat release maximum values obtained at 1500 fixed engine speeds and with different engine loads are presented in Figure 12, and the cumulative heat release values obtained from the case with 7.04 kW load are presented in Figure 11,.When the obtained results were

evaluated, it was determined that the SB-5 blend fuel produced higher temperature values as part of the DF reference fuel. It was thought that these high cumulative values were caused by the high evaporation temperatures of biodiesel fuels and the oxygen contained in it caused an increase in cumulative values by improving combustion.

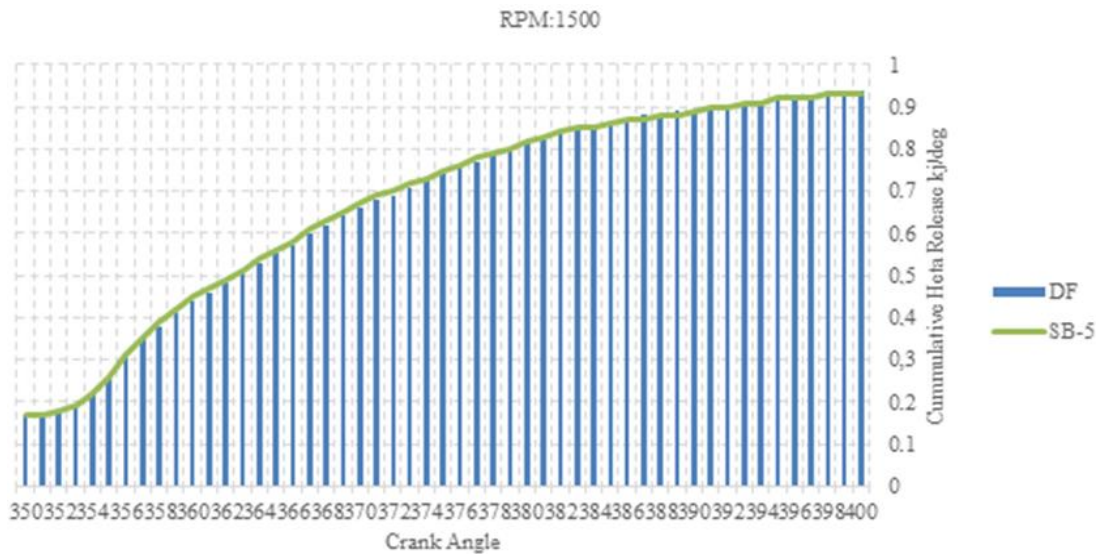


Figure 11. Variations of cumulative heat values depending on the crank angle [7.04 kw]

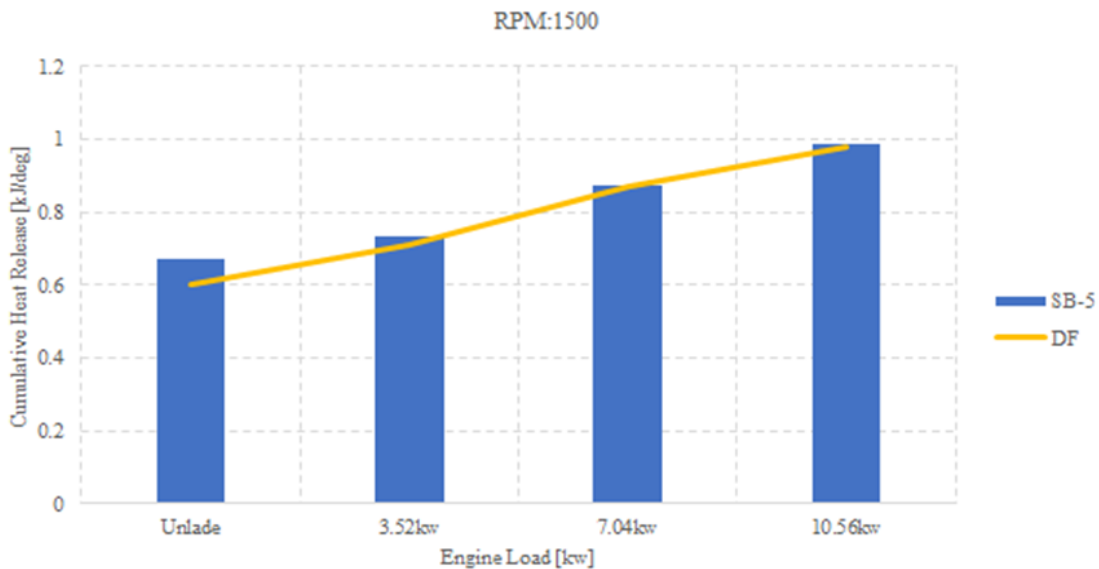


Figure 12. Maximum cumulative heat oscillations due to engine load.

3.5. Knock density

When the figure 13, which is formed by the variations of the knock intensity values in the load condition of 7.04 kW at constant engine speed, depending on the crank angle is examined, It is seen that the knock density values increased a little with the use of SB-5 fuel. The physical and

chemical properties of the DF reference fuel are thought to be effective in reducing the ignition delay time. In addition, the high evaporation enthalpy of the Biodiesel blended fuel, the amount of filling taken in, increased the ignition delay time and the impact density value accordingly (Çilgin, 2020).

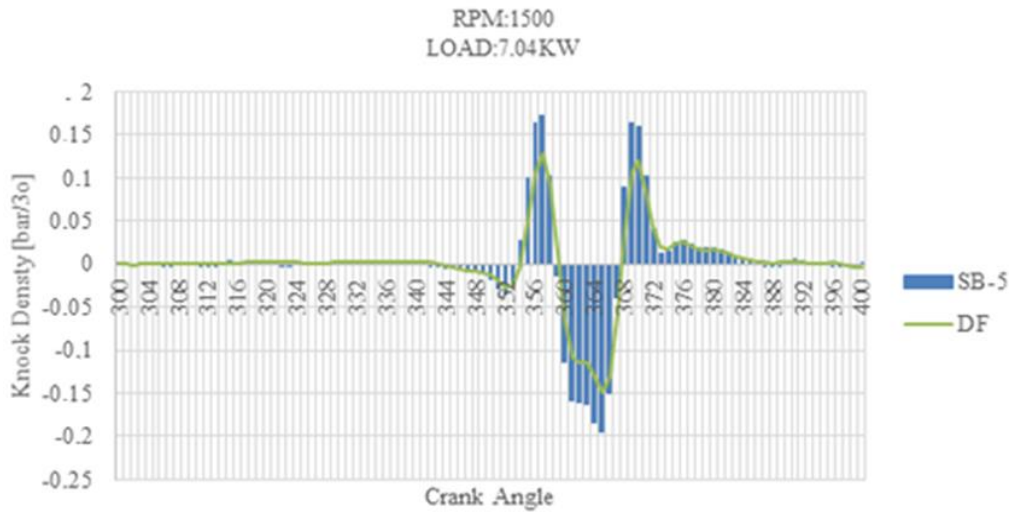


Figure 13. Variation of knock intensity values depending on crank angle [7.04 kw]

3.6. Exhaust gas emission parameters

The main reason for formation is shown in Figure 14, where the CO emission changes with O₂ deficiency in the cylinder are high at low loads. The richness of the mixture at low loads and the insufficiency of turbulence are thought to increase the CO values. As the loading on the engine increases, the high CO emissions have decreased significantly for both fuels. With the use of SB-5 fuel, a reduction of 11.76 % ppm was observed compared to [DF} fuel. The sources of NO_x in the atmosphere are vehicle exhaust and fixed combustion plants. These gases enter the natural gas cycle in the atmosphere and complete the chain reactions that result in the formation of nitric acid

(HNO₃). The load-dependent variation of nitrogen oxide values measured by the use of test fuels at constant speed is given in şekil 15. With the use of SB-5 fuel, an increase of 4.53 ppm was determined compared to diesel fuel. Hydrocarbons are emission products formed by the removal of incomplete products. This situation can be reduced by improving the combustion efficiency and structural and operational factors that negatively affect combustion. When the HC curves of the test fuels (Figure. 15) SB-5 fuel consumption decreased by 8.00 % ppm compared to the [DF] fuel. Increasing the oxidation of oxygen in essential oils was thought to cause this decrease (Ghazali at al., 2015).

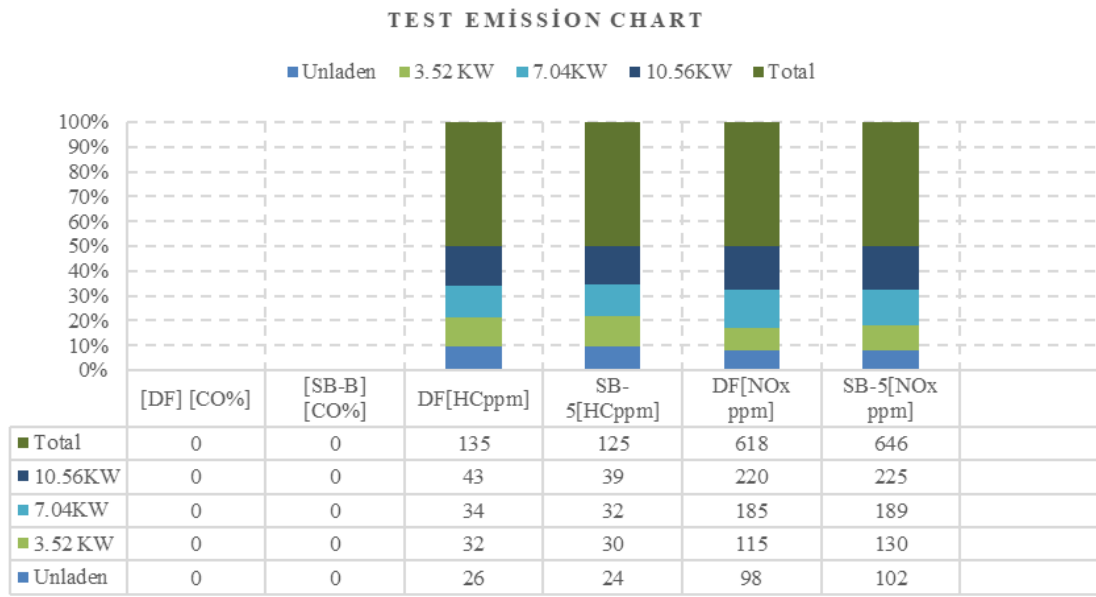


Figure 14. Exhaust gas emission parameters (CO [%], HC [ppm], NO_x [ppm])

4. Conclusions

The essential oil obtained from the *Salvia Candidissima* plant has been processed into biodiesel and tested using a reference fuel mixture. Efficient reductions in HC and CO emissions were observed as a result of the experiment when mixed fuel was used, while rises in NO_x emissions were observed. Higher values were obtained from DF fuel using mixed fuel in all combustion data, such as maximum cylinder gas pressure, cumulative heat release, average gas temperatures and knock density values. In view of the combustion and emission values, it can be stated that the essential oil obtained from the *Salvia Candidissima* plant can be used without modification in diesel engines and that the combustion reaction is significantly improved overall. However, even if the combustion data and emission values of the mixed fuel are improved, the extraction of 6-9 ml of oil from 100 grams of plant biomass prevents it from being economical.

References

- Akader, Y. (2006). Soya yağı metil esterinin dizel motorlarda yakıt olarak kullanımının deneysel olarak araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Akgül, A. (2011). Erzurum'da yetişen aromatik bitkilerin uçucu yağ verimleri ile bazılarında ana uçucu bileşenlerin araştırılması, *Journal of the Faculty of Agriculture*, 18, 1-4.
- Alizadeh, A. (2013). Essential oil constituents, antioxidant and antimicrobial activities of *salvia virgata* Jacq. from iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 16(2), 172-182
- Al-Qudah, M., Al-Jaber, H., Zarga, M.H.A. and Orabi, S.T.A. (2014). Flavonoid and phenolic compounds from *Salvia palaestina* L. growing wild in Jordan and their antioxidant activities. *Phytochemistry*, 99, 115-120. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.01.001>
- Antunes, T., Sevinate-Pinto, I., Barroso, J.G., Cavaleiro, C. and Salgueiro, L.R. (2004). Micromorphology of trichomes and composition of essential oil of *teucrium capitatum*, Flavour. Fragrance. *Journal*, 19, 336-340. <https://doi.org/10.1002/ffj.1310>
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Ong, H. C. T., Mahlia, M. I., Masjuki, H. H., Badruddin, I. A. and Fayaz, H. (2013). Non-edible vegetable oils: a critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 18, 211-245. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.013>
- Başaran, Ş. (2003). Elmalı yöresinde doğal olarak yetişen bazı bitkilerin etnobotanik özellikleri, *Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Dergisi, Çevre ve Orman Bakanlığı*, 211, 5.2003
- Bayram, E. (2001). A study on selecting suitable types of the anatolia sage (*salvia fruticosa* mill.) in the flora of western anatolia. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 25, 351-357.
- Çelik, F., Göçmez, C., Karaman, H., Kamaşak, K., Kaplan, İ. and Akıl, E. (2014). Therapeutic effects of thymoquinone in a model of neuropathic pain. *Current Therapeutic Research*. 76, 11-16. <https://doi.org/10.1016/j.curtheres.2013.11.001>
- Çilğın, E. (2020). Investigation of biodiesel potential of new hybrid of *origanum* sp. Tekin-native to Turkey, *Fuel*, 277, 118180.2020. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118180>
- Çilğın, E. (2020). Uçucu yağların dizel motorlarda yakıt olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 35-50
- EDOQ-The European Pharmacopoeia Commission. (Strasbourg, 1387. 2000). <https://www.edqm.eu/en/european-pharmacopoeia-commission>.
- Fukuda, H., Kondo, A. and Noda, H. (2001). Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(01\)80288-7](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(01)80288-7)
- Gholami, A., Pourfayaz, F., Hajinezhad, A. and Mohadesi, M. (2019). Biodiesel production from norouzak (*salvia leriifolia*) oil using choline hydroxide catalyst in a microchannel reactor. *Renewable Energy* Volume 136, 993-1001. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.057>
- Ghazali, W.N.M.W., Mamat, R., Masjuki, H.H. and Najafi, G. (2015). Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 585e602.2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.031>
- Hoseini, S.S., Najafi, G., Ghobadian, B., Rahimi, A., Yusuf, T., Mamat, R., Siddik, N.A.C. and Azmi, W.H. (2017). Effects of biodiesel fuel obtained from *Salvia macrosiphon* oil (ultrasonic-assisted) on performance and emissions of diesel engine. *Energy*. 131, 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.150>

- İlkılıç, C., Aydın, S., Behçet. and Aydın, H. (2011). Biodiesel from safflower oil and its application in a diesel engine. *Fuel Processing Technology*, 92, 3, 356-362. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.09.028>
- İlkılıç, C. and Öner, C. (2017). Biodiesel fuel obtained from sunflower oil as an alternative fuel for diesel engines. *The Online Journal of Science and Technology*, 7, 3.
- İpek, A., Gurbuz, B., Bingol, M.U., Geven, F., Akgul, G., Rezaeieh K.A.P. and Cosge, B. (2012). Comparison of essential oil components of wild and field grown salvia cryptantha montbert and aucher ex benthan, in turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36(6):668-672. <https://doi.org/10.3906/tar-1201-41>
- Kralova, I. and Sjöblom, J. (2010). Biofuels–renewable energy sources: a review, *Journal of Dispersion Science and Technology*. 31(3), 409-425, <https://doi.org/10.1080/01932690903119674>
- Kush, F. (1982). Transesterification of vegetable oils for fuels. *Vegetable Oils Fuels Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*
- Lapuerta, M., Armas, O. and Rodriguez–Fernandez, J. (2008). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 198-223, <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2007.07.001>
- Mutlubaş, H. and Özdemir, Z. (2016). Biyodizel üretim yöntemleri ve çevresel etkileri. *Kirklareli University Journal of Engineering and Science*, 2, 129-143
- Uyumaz, A., Solmaz, H., Boz, F., Yılmaz, E. and Polat, S. (2017). Reaktif kontrollü sıkıştırma ile ateşlemeli (rccı) bir motorda lamdanın yanma karakteristiklerine etkileri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 17, 1146-1156, <https://doi.org/10.5578/fmbd.66127>
- (OECD/FAO). Food and agriculture organization of the United Nations. 2016-2025. OECD Publishing, Paris, http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-en
- Özler, M.A., Duru, M.E., Diri, H.A. and Harmandar, M. (2009). Antioxidant activity and chemical composition of the essential oil of salvia candidissima vahl. growing wild in Turkey. In: *I International Medicinal and Aromatic Plants Conference on Culinary Herbs*. Antalya. Edited by: Turgut, K; Onus, AN; Mathe, A., *Acta Horticulturae*, 826: 363-369.
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C. and Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513–1524.
- Pizarro, L. A.V. and Park, E.Y. (2003). Lipase catalyzed production of biodiesel fuel from vegetable oils contained in waste activated bleaching earth. *Health and Environmental Research Online*, 38(7), 1077-1082.
- Sakar, M. K. ve Tanker, M. (1991). Fitokimyasal analizler. A.Ü. Eczacılık Fak. Yayınları No: 67, 128-191, Ankara.
- Schulz, H., Schrader, B., Quilitzsch, S. and Krüger, H. (2003). Rapid classification of basil chemotypes by various vibrational spectroscopy methods, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(9), 2475-2481. <https://doi.org/10.1021/jf021139r>
- September., F. J. D. (2011). Detection and quantification of spice adulteration by near infrared hyperspectral imaging, Master, Department of Food Science Faculty of Agri Sciences, Stellenbosch University.
- Sezer, E. (2016). Dizel yakıtı, biyodizel yakıtı ve karışımlarının içten yanmalı motorlara etkilerinin teorik incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 31:4 (2016) 799-812. DOI:10.17341/gazimmefd.278437
- Stigka, E. K., Paravantis, J. A. and Mihalakakou, G. K. (2014). Social acceptance of renewable energy sources: a review of contingent valuation applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 32, April 2014, Pages 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.026>
- Tanker, M. and Sakar, M. K. (1998). Fitokimyasal analizler tanım, miktar tayini ve izolasyon, Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları, 9, 134-140, 1998.
- Tübives-Turkish Türkiye Bitkileri Veri Servisi Erişim adresi http://traglor.cu.edu.tr/common/object_metadata.aspx?id=1263.
- Türkcan, A., Çanakçı, M., Özsezen, A. and Sayın, C. (2009). Investigation of combustion characteristics of a diesel engine, *Fırat University Journal of Engineering Sciences*, 21 (1): 1-10.2009
- Tisserand, R. and R, Young. (2014). Constituent profiles, essential oil safety, Churchill Livingstone, St. Louis, 483-647, 2014

Tufek, A., Guzel, A., Uzar, E. (2014). Therapeutic effects of thymoquinone in a model of neuropathic pain, *Current Therapeutic Research, Clinical and Experimental Volume 76*, December 2014, Pages 11-16. <https://doi.org/10.1016/j.curtheres.2013.11.001>

Yaldi, E. (2002). Dizel motorlarında azot oksit oluşumun teorik ve deneysel incelenmesi.

Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Qiul, J., Fan, X. and Zou, H. (2011). “Development of biodiesel from inedible feedstock through various production processes. Review,” *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, vol. 47, no. 2. pp. 102–111, 2011. DOI: 10.1007/s10553-011-0266-3

Akımsız kaplama yöntemi ile Cu-Ag bimetale parçacıkların üretimi ve karakterizasyonu

Fabrication and characterization of Cu-Ag bimetal particles by electroless coating method

Temel VAROL*^{1,a}, Serhatcan Berk AKÇAY^{1,b}, Onur GÜLER^{1,c}

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 17.07.2020

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 10.02.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 25.03.2021

Öz

Bimetalik veya katmanlı malzemeler ileri mühendislik malzemeleri içinde önemli bir grup olup bu malzemeler çekirdek konumundaki parçacığın fiziksel, mekanik ve termal özelliklerinin geliştirilebildiği malzemelerdir. Bundan dolayı bu çalışmada akımsız kaplama yöntemi ile gümüş kaplı bakır bimetale parçacıkların üretimi araştırılmıştır. Bu çalışmada ayrıca, akımsız kaplama yönteminde iyon yakalayıcı/indirgeyici ajan miktarının kaplama sonucunda elde edilen bimetale parçacıkların fiziksel özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Gümüş kaplı bakır parçacıklarının morfolojisi, mikro yapısı ve gümüş tabaka kalınlığı taramalı elektron mikroskobu ve X-ışını kırınımı ile karakterize edilmiştir. SEM incelemeleri bakır parçacıklar üzerinde 0.873 – 2.3 µm aralığında gümüş kaplama tabakasının varlığını ortaya koymuştur. Bu sonuç akımsız kaplama yöntemiyle bakır parçacıkların üzerinde başarılı bir şekilde gümüş kaplama tabakasının sentezlenebildiğini göstermiştir. Böylece bakırın düşük maliyeti ile gümüşün yüksek termal iletkenliği ve oksidasyon direnci tek bir metal parçacık bünyesinde birleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Akımsız kaplama, Bimetalik parçacıklar, Gümüş kaplı bakır

Abstract

Bimetallic or layered materials are an important group of advanced engineering materials, which are the materials where the physical, mechanical and thermal properties of the core particle can be improved. Therefore, in this study, the fabrication of silver-plated copper bimetallic particles was investigated by electroless coating method. Moreover, in this study, the effect of the amount of ion trapping / reducing agent in the electroless coating method on the physical properties of the bimetallic particles obtained as a result of the coating was investigated. Morphology, microstructure and silver layer thickness of the silver coated copper particles were characterized by scanning electron microscope (SEM) and X-ray diffraction. SEM investigations revealed the presence of a silver coating layer on copper particles in the range of 0.873 – 2.3 µm. This result showed that the silver coating layer can be successfully synthesized on copper particles by using the electroless coating method. Thus, low cost of copper and high thermal conductivity and oxidation resistance of silver are combined in a single metal particle.

Keywords: Electroless coating, Bimetallic particles, Silver coated copper

*^a Temel VAROL; tvarol@ktu.edu.tr, Tel: (0462) 377 36 42, orcid.org/0000-0002-1159-5383

^b orcid.org/0000-0002-7492-4287

^c orcid.org/0000-0002-9696-3287

1. Giriş

Bakır, elektronik devre elamanlarında, elektrik iletim hatlarında, elektrik kontak malzemelerinde ve benzeri birçok alanda kullanılmaktadır. Metallerin oda sıcaklığındaki elektriksel iletkenlik değerleri incelendiğinde bakır, tablonun en üst sırasında yer alan gümüşten sonra en iyi elektriksel iletkenliğe sahip metal olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak gümüş ile kıyaslandığında sahip olduğu düşük oksidasyon direnci bakır esaslı malzemelerin kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır (Lin ve Chiu, 2008; Mu, vd., 2013; Polan, 1987; Poljanec ve Kalin, 2019; Rigou vd., 2012; Zhou vd., 2019). Bakır'ın oksidasyon direncini arttırmak için oksidasyon direnci daha yüksek metallerle kaplanması yâda alaşım haline getirilmesi mümkündür (Huttunen-Saarivirta ve Tiainen, 2005; Songping, 2007; Wang, 2002). Alaşım oluşturarak bakırın oksidasyon direnci iyileştirilebilse de elektriksel iletkenliği azalmaktadır (Antler, 1985). Yapılan araştırmalar, bakır parçacıkların oksidasyon direncinin ve yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi için farklı kaplama yöntemleri olduğunu göstermektedir. Yapılan bu kaplama işlemleriyle birlikte yüksek sıcaklık aralığına sahip uygulamalar da dahil olmak üzere elektrik-elektronik sektöründe yüksek maliyetli gümüş kullanımı yerine oksidasyon direnci artırılmış, yüksek elektriksel ve termal iletkenlik özelliklerine sahip gümüş kaplı bakır parçacıklarının kullanılabilceğini göstermektedir (Ang vd., 2004; Güler vd., 2019; Perelaer vd., 2008). Kaplama işlemi için fiziksel (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD), elektrolitik kaplama ve akımsız kaplama gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bununla birlikte fiziksel ve kimyasal buhar biriktirme yöntemleri için yüksek maliyetli cihazlar gerektirmektedir (Lim vd., 2016). Elektrolitik kaplama yöntemi, akımsız kaplama yöntemi ile kıyaslandığında daha verimsiz bir yöntemdir ve elektrolitik kaplama işleminde özellikle tozların kaplanması mümkün değildir. Akımsız kaplama yöntemi ise parçacıkların kaplanması için çok uygun bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrolitik kaplama işleminde kaplama tabakası homojen olarak dağılmazken, akımsız kaplama işleminde kaplama tabakası kaplanan parçanın her noktasında aynı özelliklere sahip olmaktadır. Öte yandan akımsız kaplama işlemi çok yüksek verim ve çok yüksek malzeme depolama oranlarına sahip olmasıyla da diğer kaplama yöntemlerine göre üstünlük

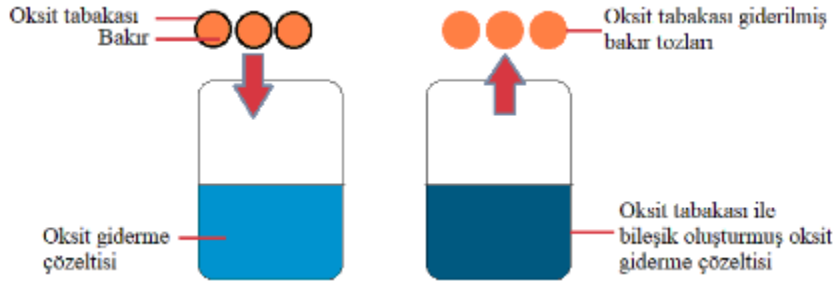
göstermektedir. Bu nedenle gümüş kaplı bakır parçacıkların üretimi için en uygun yöntemin akımsız kaplama yöntemi olduğu anlaşılmaktadır (Biswas vd., 2018; Meng vd., 2017; Rudnik ve Jucha, 2013).

Literatür incelendiğinde, akımsız gümüş kaplama yöntemi ile elde edilen bakır-gümüş bimetalik tozların kaplama tabakası, homojenitesi, kristal yapısı gibi özellikleri üzerine akımsız gümüş kaplama işlemlerinde kullanılan indirgeyici ajan yani iyon yakalayıcı miktarının etkisini inceleyen çalışmalara rastlanmamıştır. Buna bağlı olarak; bu çalışmanın amacı, indirgeyici ajan miktarının akımsız gümüş kaplama tabakasının özellikleri ve elde edilen bimetalik parçacıkların oksidasyon direncine olan etkisini incelemektir. Bu bağlamda, bu çalışmada akımsız kaplama parametrelerinden biri olan indirgeyici ajan miktarındaki değişimin, kaplama tabakasının kalınlığı ve homojenliği üzerine olan etkisi araştırılarak tüm deneylerde aynı gümüş kaynağı miktarıyla ancak farklı indirgeyici ajan miktarı ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen bimetalik parçacıkların fiziksel özellikleri detaylıca incelenmiştir.

2. Deneysel çalışmalar

Bu çalışmada ortalama toz boyutu 28 µm olan küresel bakır tozları (Makin Metal Powders (UK) Limited, saflık: 99.9) kullanılmıştır. Akımsız kaplama işleminden önce yüzeylerinde oksit bulunan bakır tozları oksit tabakalarının giderilmesi için 6 gr amonyum sülfat ((NH₄)₂SO₄), 100 mL saf su ve 50 mL amonyak (NH₃) çözeltisi kullanılarak hazırlanan sulu çözelti içerisinde karıştırma hızı 250 devir/dakika ve 40 °C sıcaklık koşullarında 5 dakika süreyle oksit giderme işlemine tabi tutulmuştur. Oksit giderme işlemi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmektedir.

Akımsız gümüş kaplama işleminde iyon yakalayıcı (indirgeyici ajan) olarak C₄H₄KNaO₆•4H₂O kullanılmaktadır. Bu çalışmada C₄H₄KNaO₆•4H₂O miktarının değişiminin akımsız gümüş kaplanmış bimetalik tozların fiziksel özellikleri üzerine etkisi araştırılacağından dört farklı iyon yakalayıcı (indirgeyici ajan) miktarı belirlenmiştir. Belirlenen miktarlar ve deneylerin isimlendirilmesi Tablo 1'de verilmiştir.

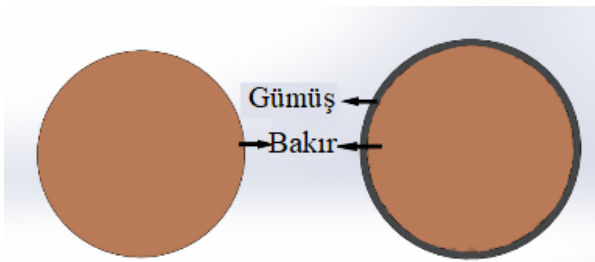


Şekil 1. Oksit giderme işlemine ait şematik gösterim.

Tablo 1. Deneylede kullanılacak indirgeyici ajan miktarları.

	Kod	C ₄ H ₄ KNaO ₆ * 4 H ₂ O	AgNO ₃	Safılık
Deney-1	D-1	0.253 gr	0.21 gr	%99.9 <
Deney-2	D-2	0.506 gr	0.21 gr	%99.9 <
Deney-3	D-3	0.759 gr	0.21 gr	%99.9 <
Deney-4	D-4	1.012 gr	0.21 gr	%99.9 <

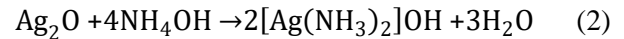
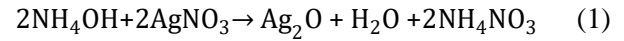
Tablo1'de belirtilmiş oranlara göre her bir deney için öncelikle belirlenen miktar ile C₄H₄KNaO₆•4H₂O 50 mL'lik sulu çözelti haline getirilmiş ve oksitten arındırılmış Cu tozları C₄H₄KNaO₆•4H₂O sulu çözeltisinin içerisine eklenerek 600 devir/dakika karıştırma hızında karıştırmaya devam edilmiştir. Akımsız gümüş kaplama işleminde gümüş iyon kaynağı olarak kullanılan AgNO₃ 50 mL'lik sulu çözelti haline getirilmiş ve 40 °C'ye ulaşana kadar 600 devir/dakika karıştırma hızı ile karıştırılmıştır. Gümüş iyon kaynağı çözeltisinin sıcaklığının 40 °C'ye ulaşması ile birlikte çözeltinin pH değerini düzenlemek amacıyla NH₄OH çözeltisi pH değeri 11 oluncaya kadar karışmakta olan çözeltiye ilave edilmiştir. Çözeltinin pH değerinin 11 olmasıyla birlikte akımsız kaplama işlemine başlanmıştır. Gümüş iyon kaynağı sulu çözeltisinin tamamının çözeltiye ilave edilmesinin ardından 30 dakika boyunca kaplama işlemi devam etmiştir. Kaplanmamış bakır tozu ve akımsız gümüş kaplama işlemi ile üretilen bimetalik parçacık Şekil 2'de şematik olarak gösterilmektedir.



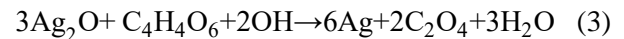
Şekil 2. Akımsız gümüş kaplanmış ve kaplanmamış parçacığın şematik görünümü.

Denklem 1 ve Denklem 2 akımsız gümüş kaplama işleminde sırasıyla pH düzenlemek amacıyla ilave edilen NH₄OH çözeltisi ile AgNO₃ çözeltisi arasındaki kimyasal tepkimeleri, Denklem 3 ise gümüş kaynağı ile iyon yakalayıcı(indirgeyici) arasında meydana gelen kimyasal tepkimeleri göstermektedir.

AgNO₃ ve NH₄OH reaksiyonları:



C₄H₄KNaO₆•4H₂O içerisine pH değeri düzenlenmiş AgNO₃ çözeltisinin damlatılması sırasında meydana gelen reaksiyon:



Akımsız kaplama işleminin tamamlanmasının ardından kaplama çözeltisi içerisinden ayrılan bimetal parçacıklar, kaplama çözeltisinin kalıntılarının iyice giderilmesi için öncelikle saf su ile üç kez yıkanmıştır. Ardından etil alkol ile yıkanan bimetal parçacıklar 70 °C sıcaklıkta koruyucu bir gaz atmosferinde kurutulmuşlardır.

Kaplanmamış Cu parçacıkları ve akımsız gümüş kaplanarak üretilmiş bimetal parçacıkların morfoloji incelemeleri Zeiss Evo LS10 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak araştırılmıştır. Bimetal parçacıkların Elementsel Haritalama ve Noktasal Element Analizi deneyleri Edax Apex™ Octane Elite EDS System kullanılarak araştırılmıştır. Bimetal parçacıkların X ışını kırınım desenleri PANalytical marka ve

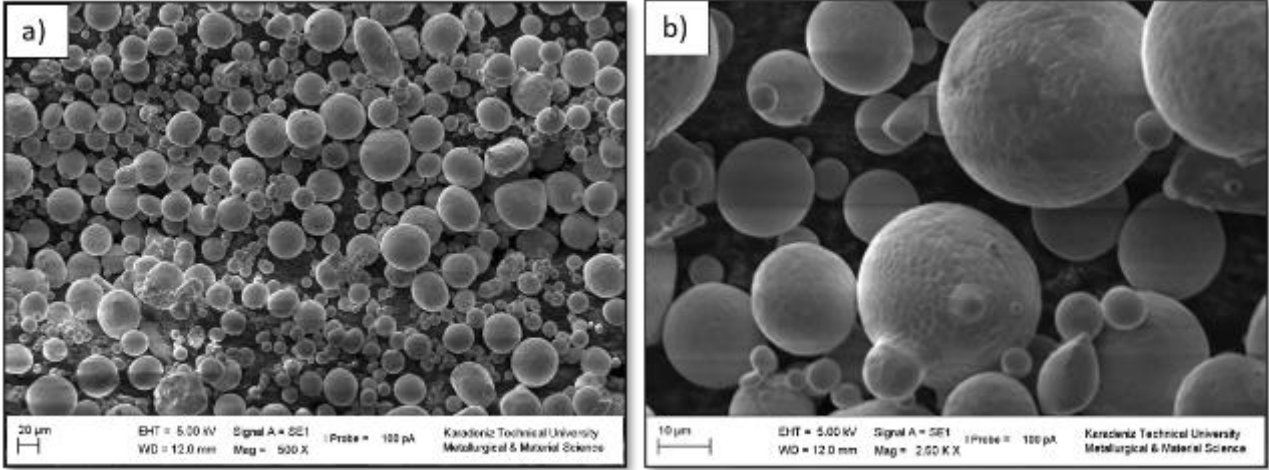
X'Pert³ Pro model X Işını kırınım cihazında 30°-85° aralığında adımı 0.01° olacak şekilde araştırılmıştır. Son olarak bakır parçacıkların ve bimetal parçacıkların oksidasyon davranışları 10 °C/dk ısıtma hızında TGA 4000 cihazı kullanılarak 600 °C sabit sıcaklıkta ve değişken sürelerde oksidasyona maruz bırakılmaları sonucunda % bağıl kütle artışları hesaplanarak belirlenmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

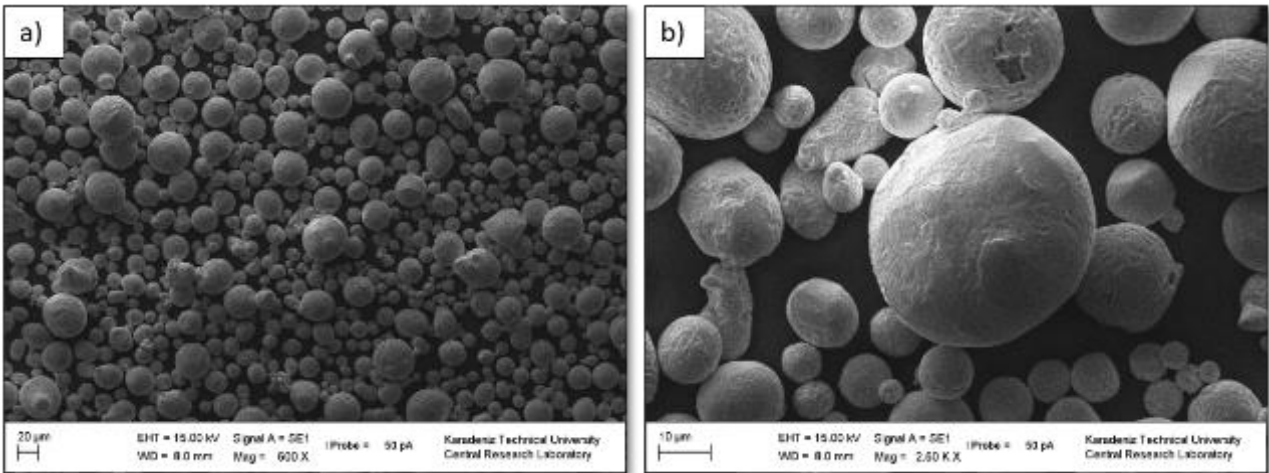
3.1. Morfoloji

Şekil 3 kaplanmamış Cu tozlarının, Şekil 4 D-1, Şekil 5 D-2, Şekil 6 D-3 ve Şekil 7 D-4 kodlu bimetalik parçacıkların küçük ve büyük büyütme ölçeklerindeki morfolojilerini göstermektedir. Şekil 3'de görülen ve kaplama işlemi uygulanmamış bakır tozlarına ait toz morfolojileri incelendiğinde yüzeylerde herhangi bir kaplama tabakası bulunmadığı ve hızlı katılma esnasında

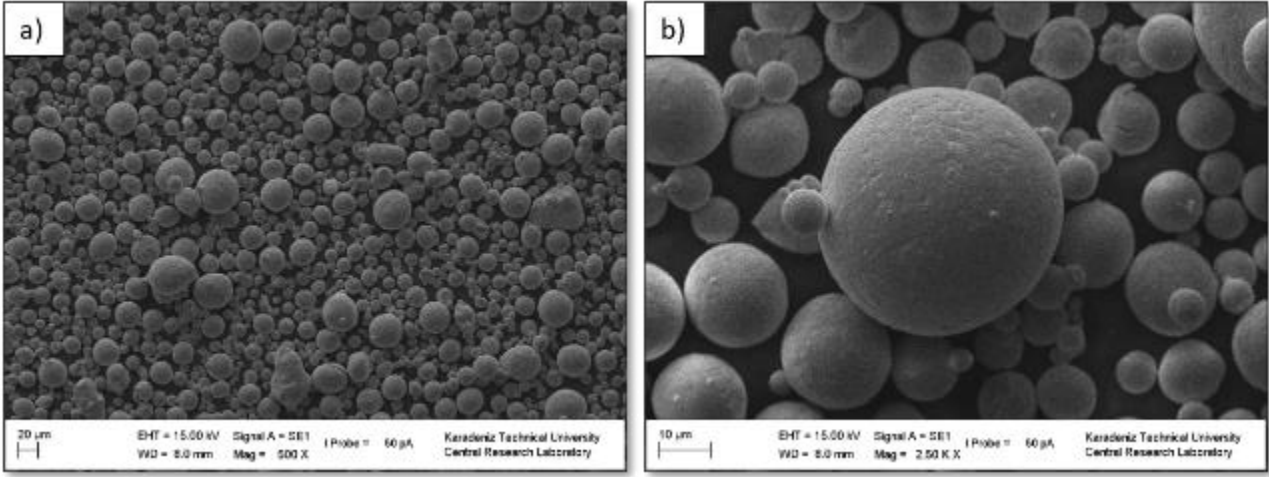
meydana gelen tane sınırları gözlemlenmektedir. Şekil 4-7'de görülen morfoloji görüntülerinde, bakır parçacık yüzeyleri üzerinde ikincil bir gümüş kaplama tabakasının olduğu ve bu gümüş kaplama tabakasının artan indirgeyici (iyon yakalayıcı) oranı değişse bile parçacık morfolojisi olan küresel morfolojiyi değiştirmedeği görülmektedir. Akımsız kaplama işlemi esnasında parçacık yüzeyleri gümüş iyonlarının yüzeyde birikmesiyle küresel morfolojiye uyumlu bir şekilde gümüş ile kaplanmıştır. Bunun sebebi, akımsız kaplama işleminde kaplanacak parça ya da parçacığın geometrisinin kaplama işlemine bir etkisi olmamasıdır. Daha açık bir ifadeyle akımsız kaplama işlemi, elektrolitik kaplamada elde edilemeyen bir sonuç olan kaplanacak olan parçacığın tüm yüzeyinde eşit bir kaplama tabakası oluşmasını sağlamaktadır. Parçacık morfolojisi incelemelerinden elde edilen önemli bir sonuç da artan indirgeyici miktarı ile bakır tozları üzerine kaplanan gümüş kaplama tabakasındaki artıştır.



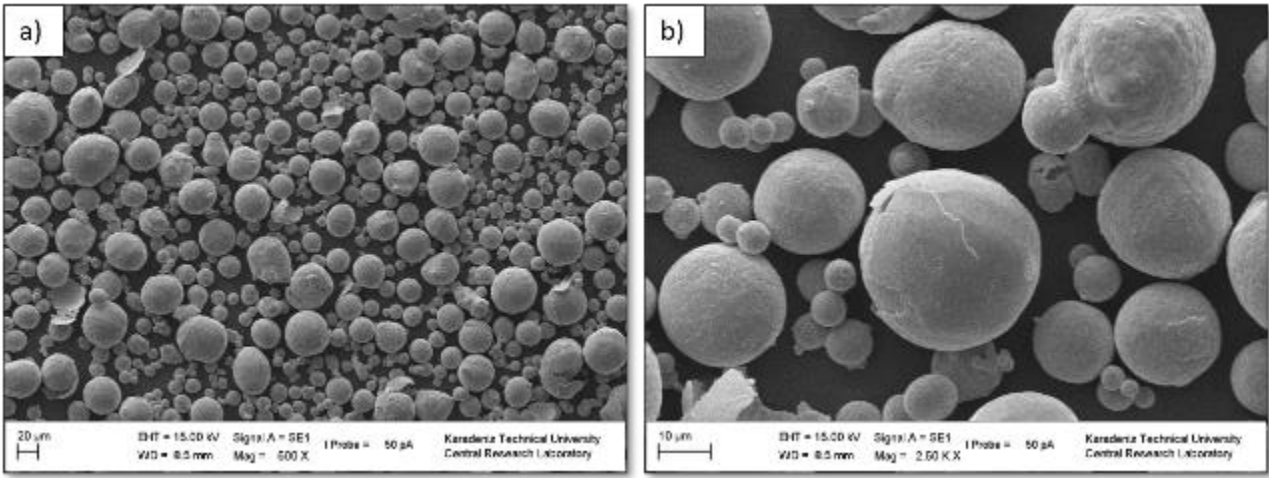
Şekil 3. Kaplama öncesi bakır tozlarına ait morfolojiler; (a) 500X büyütme, (b) 2500X büyütme.



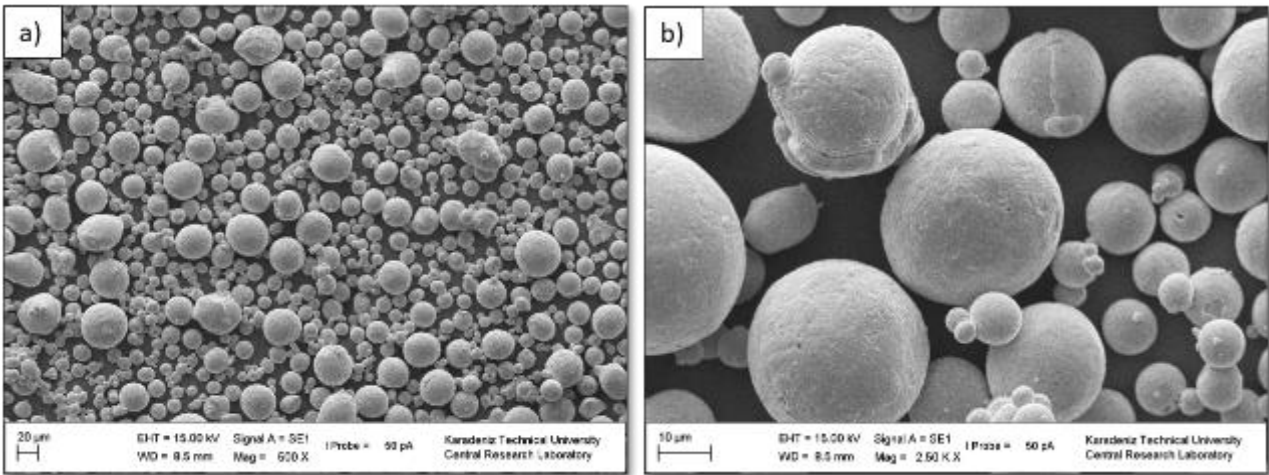
Şekil 4. D-1 kodlu bimetal parçacıklara ait morfolojiler; (a) 500X büyütme, (b) 2500X büyütme.



Şekil 5. D-2 kodlu bimetal parçacıklara ait morfolojiler; (a) 500X büyütme, (b) 2500X büyütme.



Şekil 6. D-3 kodlu bimetal parçacıklara ait morfolojiler; (a) 500X büyütme, (b) 2500X büyütme.



Şekil 7. D-4 kodlu bimetal parçacıklara ait morfolojiler; (a) 500X büyütme, (b) 2500X büyütme.

3.2. Kaplama kalınlığı

Bimetalik parçacıklar üzerinden yapılan SEM analizleri sonucunda artan indirgeyici oranı ile kaplama kalınlığının arttığı gözlemini

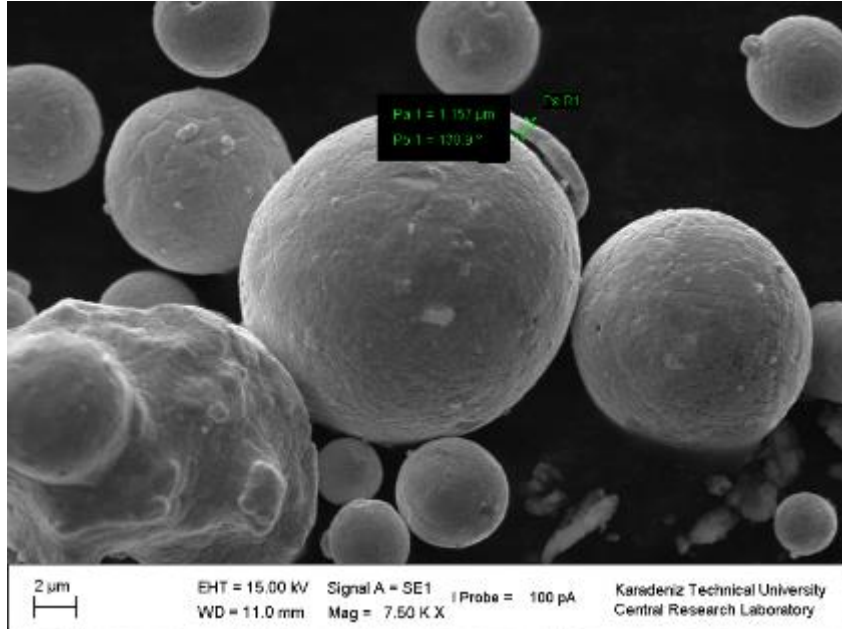
doğrulamaktadır. Bu durum gümüş kaynağı çözeltisi içerisindeki gümüş iyonlarının bakır parçacıklar üzerine indirgenerek bimetalik parçacık elde etmek için kullanılan gümüş kaynağı ve indirgeyici ajan miktarının önemini ortaya

koymaktadır. Şekil 8, D-1 deneyi sonucu üretilmiş olan bimetal parçacıklar üzerindeki kaplama kalınlığını ifade etmektedir ve 873.2 nm olarak ölçülmüştür. Şekil 9’da, artan indirgeyici oranı ile birlikte bakır parçacık üzerine indirgenen gümüş kaplama tabakası kalınlığının 1.157 μm olduğu görülmektedir. Şekil 10 incelendiğinde artan indirgeyici oranı ile birlikte bakır parçacık üzerine indirgenen gümüş kaplama tabakasının kalınlığının

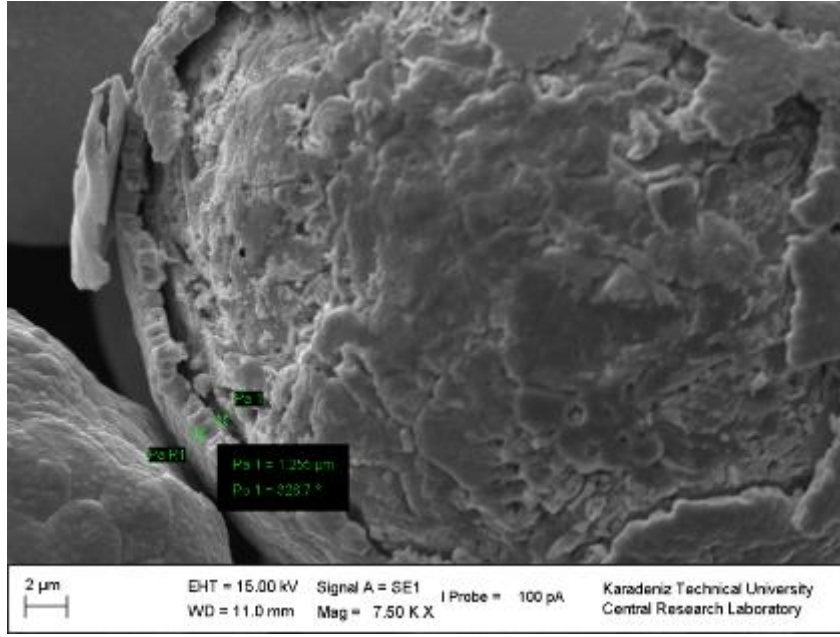
1.255 μm olarak ölçüldüğü görülmektedir. Son olarak Şekil 11’de en yüksek indirgeyici miktarı ile yapılan deney sonucunda elde edilen bimetal parçacıklar üzerindeki kaplama tabakasının 2.332 μm olarak ölçülmüştür. Elde edilen bu veriler, indirgeyici oranının miktarının artışıyla elde edilen kaplama tabakasının kalınlığının arttığını göstermektedir.



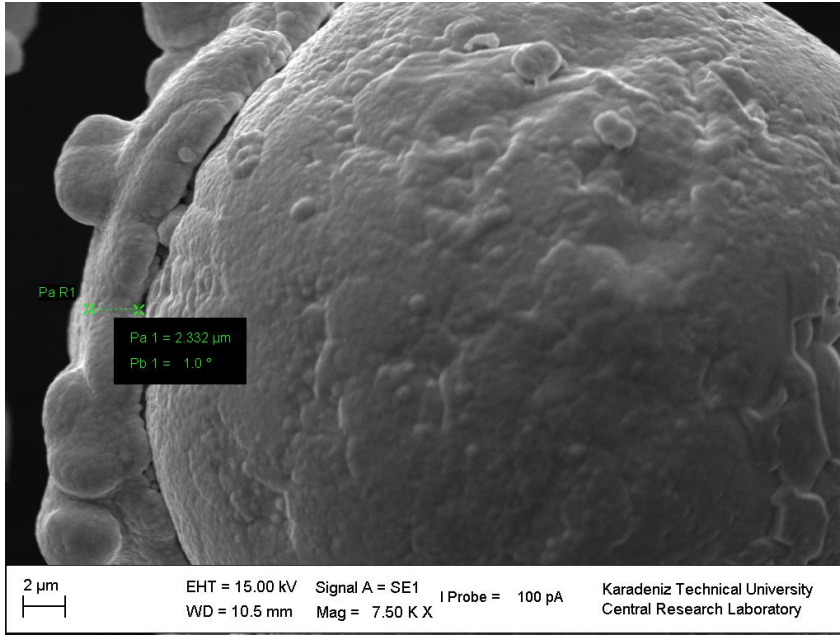
Şekil 8. D-1 kodlu bimetal parçacık gümüş kaplama tabakası kalınlığı.



Şekil 9. D-2 kodlu bimetal parçacık gümüş kaplama tabakası kalınlığı.



Şekil 10. D-3 kodlu bimetal parçacık gümüş kaplama tabakası kalınlığı.

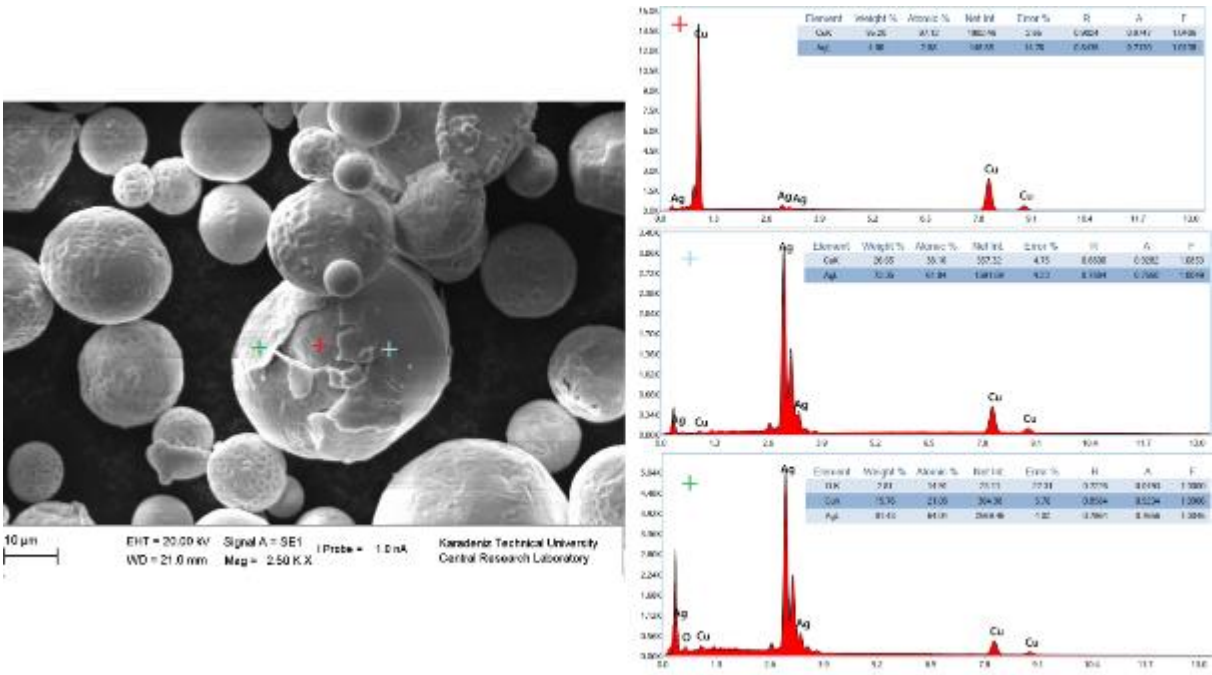


Şekil 11. D-4 kodlu bimetal parçacık gümüş kaplama tabakası kalınlığı.

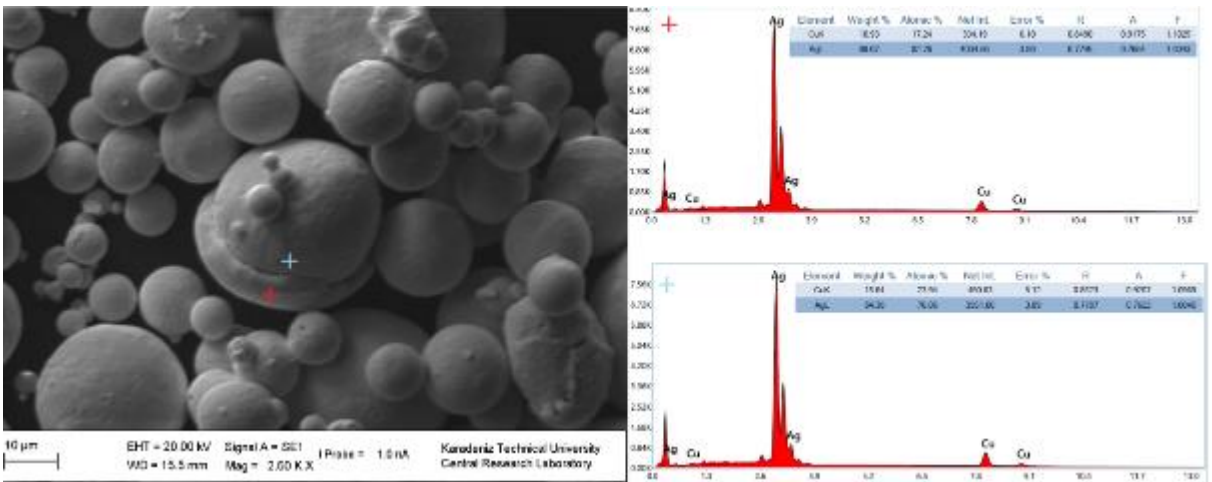
3.3. Elementel analiz

Şekil 12-15 akımsız kaplama yöntemiyle gümüş kaplanan bakır parçacıkların yüzeyleri üzerinden yapılan noktasal elementel analiz sonuçlarını göstermektedir. Analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi çekirdek üzerinde bakır yoğunluğu yüksek iken kaplama tabakası üzerindeki malzeme bileşimi neredeyse tamamen gümüştür. Bu sonuç çalışma kapsamında gümüş kaplama tabakası

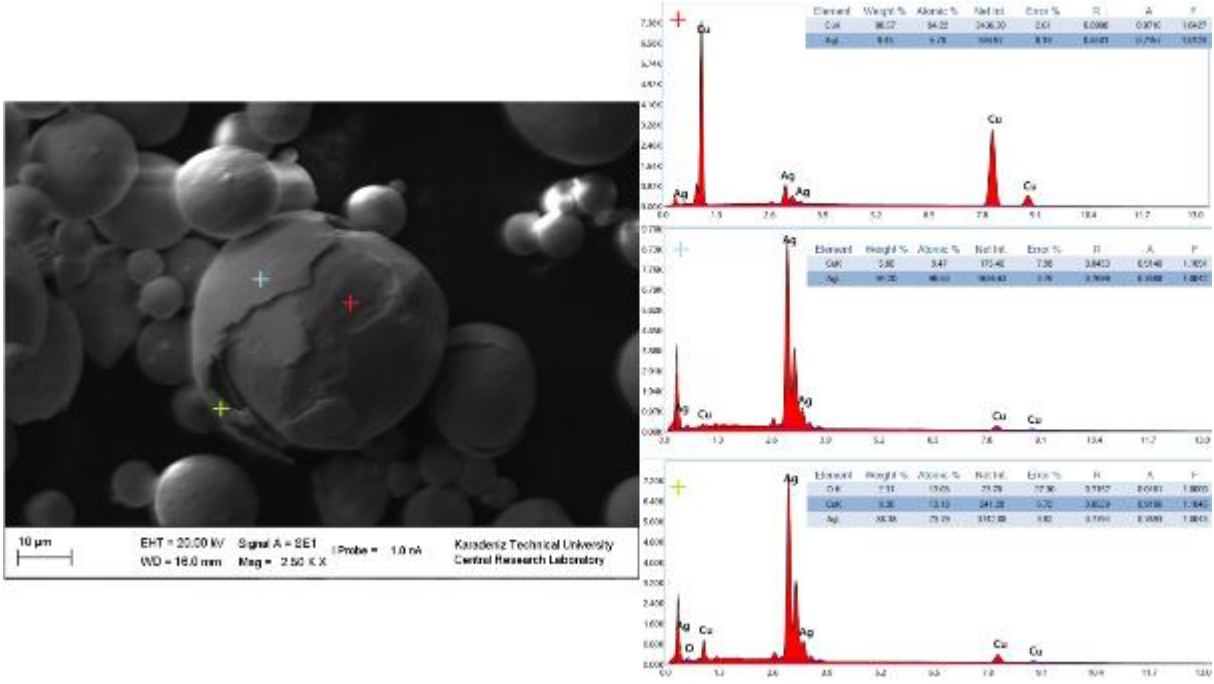
üretiminin başarısını ve akımsız kaplama yönteminin metalik toz kaplamadaki başarısını göstermektedir. Noktasal analiz sonuçlarından elde edilen bir diğer sonuç ise gümüş kaplı bakır tozlar üzerinde oksit varlığının bulunmaması (Şekil 12, 13 ve 15) veya oldukça düşük (Şekil 14) miktarda bulunmasıdır. D-3 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlar üzerinde gözlemlenen oksit varlığının sebebi mikro seviyede kaplanmamış bölge varlığıdır.



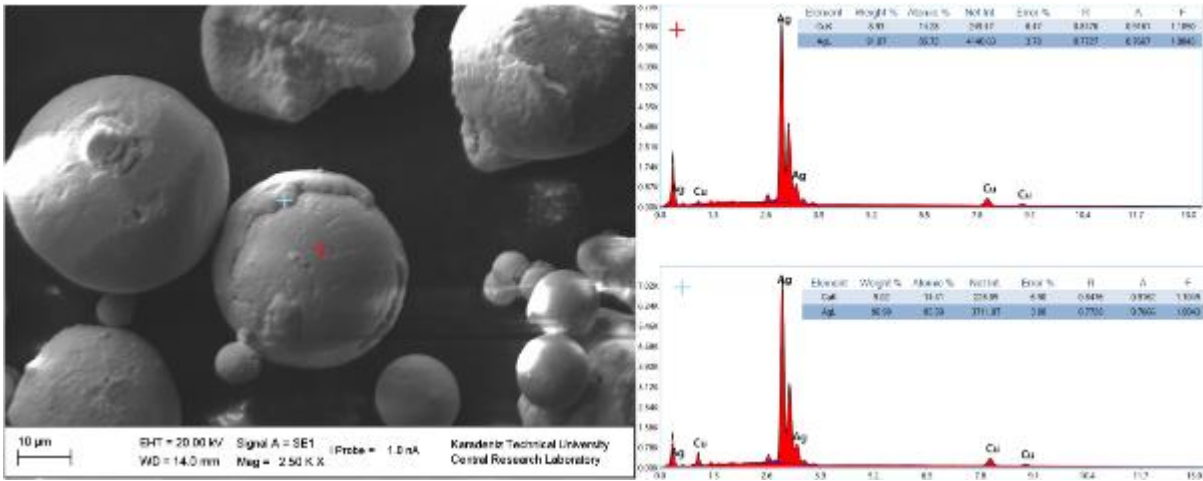
Şekil 12. D-1 kodlu bimetal parçacığın noktasal element analizi.



Şekil 13. D-2 kodlu bimetal parçacığın noktasal element analizi.



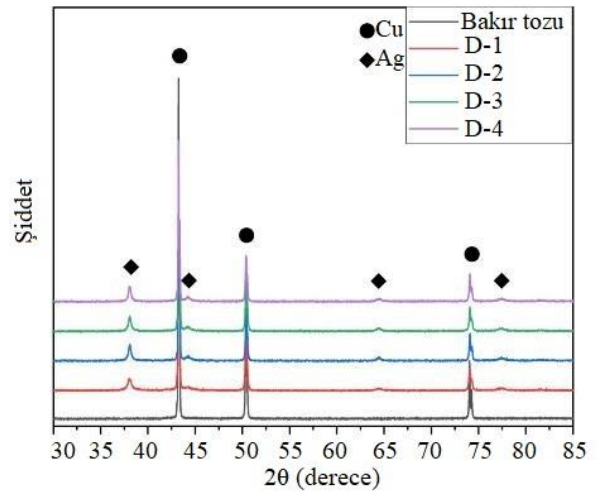
Şekil 14. D-3 kodlu bimetal parçacığın noktasal element analizi.



Şekil 15. D-4 kodlu bimetal parçacığın noktasal element analizi.

3.4. Xrd

Şekil 16 saf bakır tozu ve dört farklı deneyin X-ışını kırınım desenlerini göstermektedir. Desenler incelendiğinde D-1, D-2, D-3 ve D-4 olarak isimlendirilen deneyler sonucunda elde edilen X-ışını kırınım desenleri gümüş kaplama tabakasından dolayı saf bakır tozuna göre farklılık göstermiştir. XRD sonuçlarında herhangi bir oksit veya farklı bir metale ait kırınım desenleri gözlemlenmemiştir. Gümüş kaplama kalınlığı arttıkça X-ışını kırınım desenlerinde gümüş elementine ait kırınım desenleri daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Bu nedenle D-2, D-3 ve D-4 deneylerine ait kırınım deseni şiddetleri D-1 deneyine ait kırınım desenleri şiddetlerinden daha yükündür.

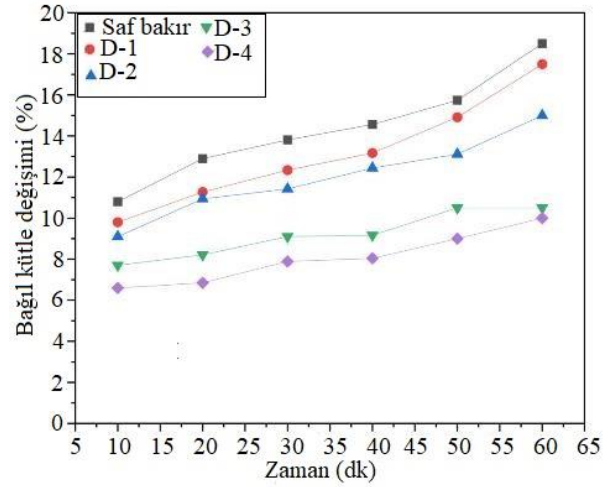


Şekil 16. X-ışını kırınım desenleri.

3.5. Oksidasyon direnci

Bakır ve gümüş atmosfer altında artan sıcaklıkla birlikte oksitlenme eğilimindedirler. Bununla birlikte sabit tutulan yüksek bir sıcaklıkta bekleme süresinin artmasıyla birlikte metallerin yüksek sıcaklıkta atmosfere maruz kalma sürelerine göre oksitlenmeleri öngörülmektedir. Malzemelerin oksitlenmeleriyle birlikte ağırlıklarında bir artış meydana gelmektedir. Yapılan bu deneyde sabit sıcaklıkta artan sürelerde bekletilen metal tozların, başlangıçtan itibaren kütlelerindeki artışın hesaplanması ve kütle artışına bağlı olarak oksidasyon dirençleri arasındaki farklılıkların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Oksidasyon direnci yüksek olan malzeme daha az bağıl kütle artışı gösterirken, oksidasyon direnci düşük olan malzemenin daha çok bağıl kütle artışı göstermesi beklenmektedir. Yani oksidasyon direnci düşük olan malzemenin daha fazla oksitlenmesi ve buna bağlı olarak kütlelerinin daha fazla artması beklenmektedir. Saf bakır ve akımsız kaplama yöntemi ile gümüş kaplanarak elde edilmiş D-1, D-2, D-3 ve D-4 deneyleri sonucunda üretilen bimetalik tozlarının TGA yöntemi ile 600 °C sabit sıcaklıkta zamana bağlı olarak ölçülen kütle artışları Şekil 17’de görülmektedir. Akımsız gümüş kaplanmış bakır tozlarının oksidasyonu dirençlerini belirlemede kullanılan sıcaklık 600 °C’den düşük olduğunda, gümüşün yüksek oksidasyonu direncinden dolayı dikkat çekici bir kütle artışı görülmemektedir. Ancak 600 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda belirgin bir artış gözlenmektedir. Benzer bir durum literatürde belirtilmiştir (Güler vd., 2019). Bu yüzden oksidasyon direnci testlerinde sıcaklık olarak 600 °C seçilmiştir. Şekil 17’de görüldüğü gibi 600 °C sabit sıcaklıkta artan bekleme süresi ile birlikte en fazla kütle artışı saf bakır parçacıklarda meydana gelmiştir. Bu sonuç bakır’ın yüksek sıcaklıklardaki düşük oksidasyon direncini ortaya koymaktadır. Şekil 17 incelendiğinde saf bakır parçacıklardan sonra en yüksek % bağıl kütle artışı gösteren bimetal parçacıkların D-1 kodlu deney sonucu üretilen parçacıklar olduğu görülmektedir. Ancak saf bakır ile kıyaslandığında daha az miktarda bir % bağıl kütle artışı meydana gelmiştir. Bu durum, gümüşün yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon direncinin, bakır parçacıkların üzerine akımsız kaplama yöntemiyle kaplanması sonrasında ortaya çıkan bimetal parçacığın oksidasyon direnci üzerine etkisini göstermektedir. Ayrıca D-2, D-3 ve D-4 kodlu deney sonucu üretilen bimetal parçacıkların % bağıl kütle artışları incelendiğinde sırasıyla her bir deneyde % bağıl kütle artışının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç bakır parçacıklar üzerindeki gümüş tabakası kalınlığına

bağlı olarak bimetal parçacıkların oksidasyon direncinin hangi oranlarda geliştirilebileceğini göstermesi açısından oldukça önemlidir.



Şekil 17. TGA yöntemi ile 600 °C’de artan süre ile % bağıl kütle artışı değişimi.

4.Sonuçlar

Bu çalışmada akımsız kaplama yöntemi ile küresel morfolojiye sahip saf bakır tozları gümüş kaplanarak bimetalik Cu-Ag tozları üretilmiştir. Ayrıca indirgeyici ajan miktarının Cu-Ag bimetalik tozlarının özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar şunlardır;

- 1) Akımsız kaplama sonucunda bakır tozlarına ait küresel morfolojide herhangi bir değişme meydana gelmemiş ve gümüş kaplama tabakası bakır tozlarının küresel morfolojisine uygun bir şekilde küresel olarak bakır tozları üzerinde sentezlenmiştir.
- 2) Kaplama kalınlığı sonuçlarına göre indirgeyici ajan miktarına bağlı olarak bakır tozları üzerinde 873.2 nm-2.3 µm aralığında değişen oranlarda gümüş kaplama tabakası elde edilmiştir. İndirgeyici ajan miktarı arttıkça gümüş kaplama tabakasının kalınlığı da artmaktadır.
- 3) Elementel analiz ve X-ışını kırınım deseni sonuçlarına göre akımsız kaplama prosesinden kaynaklı herhangi bir elementel kirlilik söz konusu olmayıp üretilen kaplama tabakası %100 gümüştür.
- 4) Saf bakır tozlarda 600 °C’de bir saat süre sonunda %19 kadar bir kütle artışı mevcutken 2.3 µm kalınlığında gümüş kaplama tabakasına sahip bakır tozlarında bu oran %7’ye kadar düşmektedir.

5) Bu çalışma sonucunda üretilen Cu-Ag bimetallik tozları yüksek iletkenlik ve yüksek oksidasyon direncine sahip iletken malzeme üretimi için oldukça uygundur.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 119M398 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Ang, T. P., Wee, T. S. A. and Chin, W. S. (2004). Three-dimensional self-assembled monolayer (3d sam) ofn-alkanethiols on copper nanoclusters. *The Journal of Physical Chemistry B*, 108(30), 11001-11010. <https://doi.org/10.1021/jp049006r>
- Antler, M. (1985). Electrical effects of fretting connector contact materials: A review. *Wear*, 106(1-3), 5-33. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(85\)90101-2](https://doi.org/10.1016/0043-1648(85)90101-2)
- Biswas, N., Baranwal, R. K., Majumdar, G. and Brabazon, D. (2018). Review of duplex electroless coatings and their properties. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 4(3), 448-465. <https://doi.org/10.1080/2374068x.2018.1457298>
- Güler, O., Varol, T., Alver, Ü. and Çanakçı, A. (2019). The effect of flake-like morphology on the coating properties of silver coated copper particles fabricated by electroless plating. *Journal of Alloys and Compounds*, 782, 679-688. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.12.229>
- Huttunen-Saarivirta, E. and Tiainen, T. (2005). Autocatalytic tin plating in the fabrication of tin-coated copper tube. *Journal of Materials Processing Technology*, 170(1-2), 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.04.113>
- Lim, Y., Lee, C., Choi, H. and Bae, J. (2016). Fabrication of electrically conductive substrates using copper nanoparticles-deposited carbon black. *Journal of Composite Materials*, 51(18), 2597-2605. <https://doi.org/10.1177/0021998316674266>
- Lin, Y.-S. and Chiu, S.-S. (2008). Electrical properties of copper-filled electrically conductive adhesives and pressure-dependent conduction behavior of copper particles. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 22(14), 1673-1697. <https://doi.org/10.1163/156856108x320537>
- Meng, D. R., Wang, L. M., Zhang, J. G., Hu, Q., Wang, L. G. and Li, C. F. (2017). Process and properties of ultrafine silver-coated electrolytic copper powders. *Materials Science Forum*, 898, 898-907. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.898.898>
- Mu, Z., Geng, H.-R., Li, M.-M., Nie, G.-L. and Leng, J.-F. (2013). Effects of Y2O3 on the property of copper based contact materials. *Composites Part B: Engineering*, 52, 51-55. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.02.036>
- Perelaer, B. J., de Laat, A. W. M., Hendriks, C. E. and Schubert, U. S. (2008). Inkjet-printed silver tracks: low temperature curing and thermal stability investigation. *Journal of Materials Chemistry*, 18(27). <https://doi.org/10.1039/b720032c>
- Polan, N. W. (1987). Copper and copper alloy, *asm handbook - corrosion: ASM International*
- Poljanec, D. and Kalin, M. (2019). Effect of polarity and various contact pairing combinations of electrographite, polymer-bonded graphite and copper on the performance of sliding electrical contacts. *Wear*, 426-427, 1163-1175. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.002>
- Rigou, V. I., Marginean, G., Frunzäverde, D. and Câmpian, C. V. (2012). Silver based composite coatings with improved sliding wear behaviour. *Wear*, 290-291, 61-65. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2012.05.014>
- Rudnik, E. and Jucha, T. (2013). Electroless and electrolytic deposition of Co-SiC composite coatings on aluminum. *Surface and Coatings Technology*, 232, 389-395. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.05.040>
- Songping, W. (2007). Preparation of ultra fine nickel-copper bimetallic powder for BME-MLCC. *Microelectronics Journal*, 38(1), 41-46. <https://doi.org/10.1016/j.mejo.2006.09.013>
- Wang J., Callahan J. and Lillie D. (2002). Method of forming chromium coated copper for printed circuit boards. CA Patent No. CA2352929A1.
- Zhou, Y. X., Xue, Y. L. and Zhou, K. (2019). Failure analysis of arc ablated tungsten-copper electrical contacts. *Vacuum*, 164, 390-395. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2019.03.052>

Limit denge analizi (Bishop Yöntemi) ile kütle hareketinin mekanizması ve önlem yapısının analizi: Van ili örneği

The analysis of mass movement mechanism using limit equilibrium method (Bishop Method) and the analysis of retaining structure: a case study for Van province

Mesut GÖR*^{1,a}

¹Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 30.12.2020 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 15.03.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 26.03.2021

Öz

Şevler, doğal şev veya inşa edilmiş şevler olarak iki farklı şekilde tanımlanabilir. Şevlerin doğal veya inşa edilmiş olması her zaman duraylı olabilecekleri anlamına gelmemektedir. Zeminin kayma mukavemetinin aşılması sonucunda şevde bir duraysızlık meydana gelir. Bu duraysızlığa sebep olan kuvvet, hareket yüzeyi boyunca oluşan kayma gerilmeleri, zeminin kayma mukavemeti parametreleri cinsinden belirlenir ve karşılaştırılır. Günümüzde teknolojik gelişmelere paralel olarak sayısal analiz ve limit denge metotlarını kullanarak şev duraylılık analizleri yapan paket programları geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Slide v.06 limit denge programı kullanılarak şev duraylılık analizleri yapılmıştır. Van ilinde meydana gelmiş bir kütle hareketinin sebebi belirlenmiştir. Aynı bölgede bulunan ve henüz hareketin meydana gelmediği şev için ise farklı analizler yapılarak şevin duraylılığı hem dinamik, hem de statik durum için incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında şev duraylılığının devamlılığı için betonarme istinat duvarı önerisinde bulunulmuştur. Betonarme istinat duvarı geometrisi paket program içerisinde oluşturulup, malzemenin teknik özellikleri girilerek analizler yapılmıştır. Bu modeller sonucunda önerilen istinat duvarıyla dinamik koşullar altında şevin duraylılığı sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: İstinat duvarı, Limit denge, Slide, Şev duraylılığı

Abstract

Slopes can be defined in two different ways as natural slopes or constructed slopes. Just because the slopes are natural or constructed does not always mean that they can be stable. As a result of exceeding the shear strength of the ground, instability of a slope occurs. The force causing this instability is determined and compared in terms of the shear stresses occurring along the movement surface and the shear strength parameters of the soil. Today, in parallel with technological developments, software has been developed that carry out slope stability analysis using numerical analysis and limit equilibrium methods. In this study, slope stability analyzes have been performed using the Slide v.06 software based on limit equilibrium method. The reason of a mass movement in Van province was determined with the aid of back analysis. Additional analyzes were carried out and the stability of the slope was examined for both dynamic and static conditions. In the light of the results obtained from the stability analyses, a reinforced concrete retaining wall has been suggested for slope stability durability. Reinforced concrete retaining wall geometry was modelled in the software and analyzes were made by using its technical specifications as input parameters. As a result of these constituted models, the slope is stable under dynamic conditions with the aid of the proposed retaining wall.

Keywords: Retaining wall, Limit equilibrium, Slide, Slope stability

*^a Mesut GÖR; mgor@firat.edu.tr, Tel: (0424) 237 00 00, orcid.org/0000-0002-5463-9278

1. Giriş

Şevler, doğal şev veya inşa edilmiş şevler olarak iki farklı şekilde tanımlanabilir. Şevlerin doğal veya inşa edilmiş olması her zaman duraylı olabilecekleri anlamına gelmemektedir. Zeminin kayma mukavemetinin aşılması sonucunda şevde bir duraysızlık meydana gelir. Bu duraysızlığa sebep olan kuvvet hareket yüzeyi boyunca oluşan kayma gerilmeleri, zeminin kayma mukavemeti parametreleri cinsinden belirlenir ve karşılaştırılır. Bu parametreler ile yapılan hesaplamalara şev duraylılık analizleri denilmektedir (Das, 1994).

Günümüzde teknolojik gelişmelere paralel olarak sayısal analiz ve limit denge metotlarını kullanarak şev duraylılık analizleri yapan paket programları geliştirilmiştir. Limit denge yöntemini kullanan paket programlar muhtemel hareket olacak bölgeleri dilimlere bölerek analizler gerçekleştirmektedir (Özbay ve Çabalar, 2015). Bu analizler sonucunda kritik kayma yüzeyleri belirlenmektedir. Bu yüzeyler, kayma dairesinin merkezi ve yarıçapında yapılan değişikliklere bağlı olarak şekillenmektedir (Yılmaz ve Özsoy, 2003).

Şevlerin duraysızlığı yenilme zamanındaki zemin ve ortam koşulları ile ilgili bilgiler vermektedir. Geriye dönük analizler yapılarak inceleme alanlarındaki zeminlerin dayanım parametreleri, yer altı suyunun durumu ve duraysızlık modeli öğrenilmeye çalışılır (Akbulut vd., 2013). Bu analizler sonucunda bir şevin yenilme durumu esas yenilmenin olduğu zamandaki zemin koşullarının ve bu duruma uygun kayma modelinin belirlenmesi işlemi geriye dönük analiz olarak adlandırılmaktadır (Duncan ve Wright, 2005).

Duraysızlık anında yapılan analizler için bu andaki zemin dayanım parametreleri ve boşluk suyu basıncı parametreleri esas alınmalıdır (Zhang vd., 2010). Geriye dönük analizler için birçok araştırmacı hem deterministik yöntemler (Wesley ve Leelaratanam, 2001; Tiwari vd. 2005; Alemdag vd., 2015; Kaya vd., 2016; Alemdağ, 2016), hem de olasılıklara dayalı yöntemler kullanmışlardır (Luckman vd., 1987; Gilbert vd., 1998; Chowdhury vd., 2004; Zhang vd., 2010; Akbaş, 2015). Jeolojik süreksizlikler, yeraltı ve çevre suları, zemin parametreleri, deprem vb. dinamik etkiler ve şev geometrisi hem doğal hem inşa edilmiş şevlerin duraylılığını kontrol eden en önemli parametrelerdir (Rai, 2017).

Yapılan bu çalışmada Slide v.06 (Rocscience, 2014) limit denge programı kullanılarak şev stabilite analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada Van ilinde meydana gelmiş bir kütle hareketinin sebebi

mevcut zemin koşulları ve doygun durum için belirlenmiştir. Aynı bölgede bulunan ve henüz hareketin meydana gelmediği şev için ise farklı analizler yapılarak şevin stabilitesi hem dinamik, hem statik durum için incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında duraysızlık oluşan şevde duraylılığı sağlamak için zemin iyileştirme yöntemi (betonarme istinat duvarı) kullanılarak öneride bulunulmuştur.

2. Genel jeoloji

Van Gölü üzerine yapılmış araştırmalar (Gürel, 1995; Kadioğlu, 1995; Degens ve Kurtman, 1978; Kempe vd., 1978) incelendiğinde; havzada ilk kez günümüzden yaklaşık 60,000-100,000 yıl kadar önce su birikmeye başladığından su seviyesinde alçalıp yükselmesine bağlı olarak Van Gölü Havzası'nda depolanan eski ve yeni göl çökelleri, bölgede bulunan Pliyo-Kuvaterner öncesi yaşlı birimlerin üzerinde aşılma uyumsuzlukla yer almaktadırlar. Yine bu yükselme-alçalma süreci neticesinde göl çökelleri ile akarsu çökelleri, çalışma alanında yer yer, ardalanmalı olarak bulunmaktadır (Özkaymak, 2003). Şev duraylılık sorunu oluşan (Şekil 1) alan eski göl çökelleri pekişmemiş kumlu seviyeler ile çok gevşek ve yumuşak karbonatlı-killi seviyelerden oluşur. Birimin en alt kesimlerinde görülen kumlu seviyeler, farklı boy ve türde çakıl boyutunda malzeme de içerir. Bu birimlerin üzerine beyaz-kirli beyaz-gri renkli, karbonatlı-killi seviyeler gelir. İnceleme alanının farklı kısımlarında 1800 metreye kadar varan yüksekliklerde eski göl ve akarsu çökellerine rastlanılmaktadır (Özkaymak, 2003).

3. Arazi ve laboratuvar çalışmaları

İnceleme alanında 4 adet toplam derinliği 36.0 m olan araştırma sondajı, 4 adet çok-kanallı yüzey dalgası analizi (MASW) (Şekil 2) ve arazide gözlemler yapılmıştır (Şekil 3). Yapılan sondajlar sonucunda yeraltı suyuna rastlanılmamıştır. Sondajlardan ve jeofizik ölçümlerden elde edilen kesit Şekil 4'te verilmiştir. Ayrıca laboratuvarda zemine ait mühendislik özelliklerini belirlemek için araştırma sondajlarından örselenmemiş numune (UD) ve karot örnekleri derlenmiştir (Şekil 5). Kayma olan bölgeden doğrudan alınacak örneklerde örselenme ihtimali olduğundan dolayı bölgede yapılan sondajlardan elde edilen örselenmemiş örnekler tercih edilmiştir. Ayrıca hareketin meydana geldiği bölgeye iş makinası ulaşımı sağlanmadığı için o bölgeden UD alınamamıştır. Zemin ve kaya örnekleri ilgili standartlar tarafından (TS 1900-1, 2006; TS 1900-

2, 2006; ISRM, 2007) önerilen yöntemlere göre hazırlanarak, deneyler Hazar Zemin ve Yapı Malz. Lab. Sondaj Jeoloji Hizm. San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne

yaptırılmıştır. Deney sonuçları doymun ve doğal zemin koşulları için Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanının jeoloji (Özkaymak, 2003'ten değiştirilerek) ve yer bulduru haritası

Tablo 1. Doymun durumdaki zemine ve kaya malzemesine ait mühendislik parametreleri

Laboratuvar Deneyleri							
	Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)		Direkt Kesme		Kaya Üç Eksenli Basınç Deneyi		Seçilen Karakteristik Değerler
	c (kg/cm ²)	φ (°)	c (kg/cm ²)	φ (°)	c (kPa)	φ (°)	
SM	-	-	Min: 0.37 Mak: 0.35 Ort: 0.33	Min: 12 Mak: 14 Ort: 13	-	-	c: 0.33 kg/cm ² φ: 13°
CL	Min: 0.45 Mak: 0.57 Ort: 0.51	Min: 4 Mak: 7 Ort: 6	-	-	-	-	c: 0.50 kg/cm ² φ: 6°
Kiltışı	-	-	-	-	-	-	-

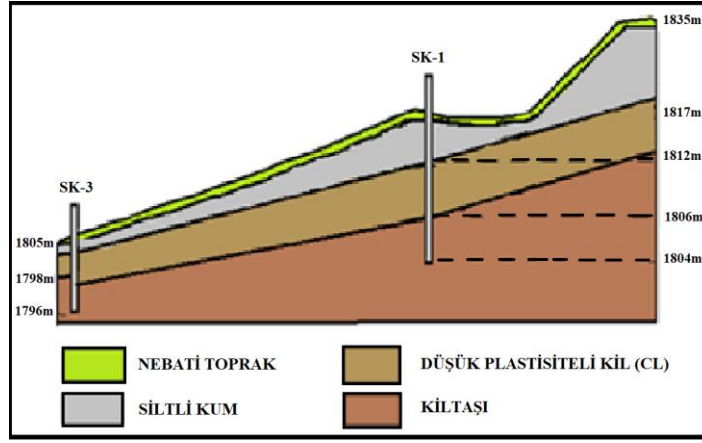
Arazi gözlemleri esnasında bölgede meydana gelen hareketin sebeplerine ait ipuçları araştırılırken şev üzerinde hareketin meydana gelmediği bölgelerin bir kısmının daha yüksek eğime sahip ve doğal durumda aynı tür zemin özelliklerinde olduğu görülmüştür. Bu hususlar göz önüne alındığında, duraysızlığa sebebiyet veren etkenin, mevcut eğimde zemin parametrelerindeki değişimlerden kaynaklı olduğuna işaret etmektedir. Bu sebeple su deposunun bulunduğu bölge incelenerek herhangi

bir su sızıntısı olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bunun sonucunda mevcut su deposundan ve/veya su hattından sızıntıların olduğu görülmüştür. Bu sebeple kayan kütlelerin hangi zemin koşullarında duraysız hale geldiğini belirlemek için laboratuvar da doymun zemin koşullarında deneyler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Doğal durumdaki zemine ve kaya malzemesine ait mühendislik parametreleri

	Laboratuvar Deneyleri						Seçilen Karakteristik Değerler
	Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)		Direkt Kesme		Kaya Üç Eksenli Basınç Deneyi		
	c (kg/cm ²)	ϕ (°)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)	c (kPa)	ϕ (°)	
SM	-	-	Min: 0.11 Mak: 0.14 Ort: 0.125	Min: 21 Mak: 25 Ort.: 23	-	-	c: 0.12 kg/cm ² ϕ : 23°
CL	Min: 0.41 Mak: 0.47 Ort: 0.43	Min: 13 Mak: 16 Ort: 15	-	-	-	-	c: 0.43 kg/cm ² ϕ : 15°
Kiltaş	-	-	-	-	214	12	c: 214 kPa ϕ : 12°

**Şekil 2.** Jeofizik ölçüm noktalarının yerleri**Şekil 3.** Çalışma alanı içerisinde bulunan su deposu ve su deposu civarının görünümü



Şekil 4. Sondajlar ve jeofizik ölçümlerden faydalanılarak oluşturulmuş jeolojik kesit



Şekil 5. UD ve karot örneklerinin alındığı sandıklar

4. Bulgular ve tartışma

4. 1. Şev duraylılık analizleri

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen duraylılık analizlerinin bütününde "Sadeleştirilmiş Bishop Yöntemi" kullanılmıştır. Zemin ve ayrışarak zemin özelliği kazanmış kaya kütlelerine uygulanabilir olması, İsveç Dilim Yöntemi'ne göre her koşulda elde edilen güvenlik katsayısının daha güvenilir olması birçok şev duraylılık probleminde Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi'nin kullanılabilirliğini artırmaktadır. Dairesel kayma yüzeyinin dengesini inceleyen Bishop metodu, ilk kez genel şekilli yüzey için geliştirilmiştir (Bishop, 1955). Sonradan dairesele yüzey varsayımında da önemli bir hata meydana getirmediği buna karşılık hesaplamalarda çabukluk sağlamıştır. Bu yöntemde dilim kenarlarındaki kuvvetlerin yatay olduğu, yani dilimler arasındaki kesme gerilmelerinin sıfır olduğu varsayılmaktadır. Bu

yöntemde düşey yöndeki dengeyi sağlamak amacı ile oluşturulan her bir dilim tabanındaki normal gerilme elde edilir. Şekil 6'da görülen bir dilim için düşey yöndeki kuvvetleri bileşenlerine ayırmak mümkün olmaktadır. Bu durumda aşağıdaki bağıntı (1) ortaya çıkarılabilir;

$$N * \cos \alpha + S * \sin \alpha - W = 0 \quad (1)$$

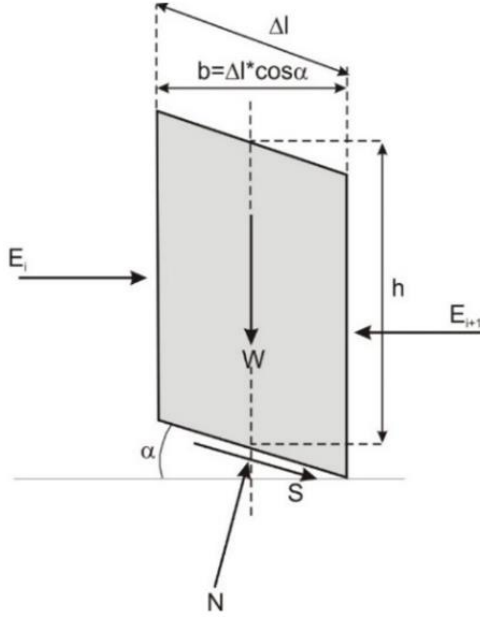
Tabana etkiyen kesme gerilmesi efektif gerilmeler cinsinden yazılacak olursa;

$$S = \frac{1}{F} * [c' - \Delta l + (N - u * \Delta l) * \tan \phi'] \quad (2)$$

(2) bağıntısı elde edilmiş olur. Yukarıdaki düşey kuvvetler bağıntısında S kesme gerilmesi yerine ilgili bağıntı yazıldığında ise;

$$N = \frac{W - (1/F) * (c' * \Delta l - u * \Delta l * \tan \phi') * \sin \alpha}{\cos \alpha + (\sin \alpha * \tan \phi') / F} \quad (3)$$

(3) bağıntısı elde edilir.



Şekil 6. Basitleştirilmiş (sadeleştirilmiş) Bishop Yöntemi'nde dilime etkiyen kuvvetler

Yöntem, sonuç olarak bir güvenlik katsayısının belirlenmesini sağlar ve bu amaçla aşağıdaki bağıntı (4) kullanılır;

$$F = \frac{\sum \left[\frac{c' * \Delta l * \cos \alpha + (W - u * \Delta l * \cos \alpha) * \tan \phi'}{\cos \alpha + (\sin \alpha * \tan \phi') / F} \right]}{\sum W * \sin \alpha} \quad (4)$$

Yukarıdaki bağıntıda da görüleceği gibi analiz efektif gerilmeler cinsinden ifade edilen kesme dayanımları kullanılarak yapılmıştır. Ancak aynı analizleri toplam gerilmeler cinsinden yapmak da mümkündür. Toplam gerilmelere dayalı bir güvenlik sayısı ifadesi, efektif gerilmeler kullanılarak elde edilmiş olan denklemdeki efektif parametreler (c' ve ϕ') yerine toplam gerilme eşdeğerlerini (c ve ϕ) koymak ve boşluk suyu basıncını sıfıra eşitlemekle elde edilebilmektedir. Toplam gerilmeler cinsinden Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi aşağıdaki bağıntı (5) ile ifade edilmektedir;

$$F = \frac{\sum \left[\frac{c * \Delta l * \cos \alpha + W * \tan \phi}{\cos \alpha + (\sin \alpha * \tan \phi) / F} \right]}{\sum W * \sin \alpha} \quad (5)$$

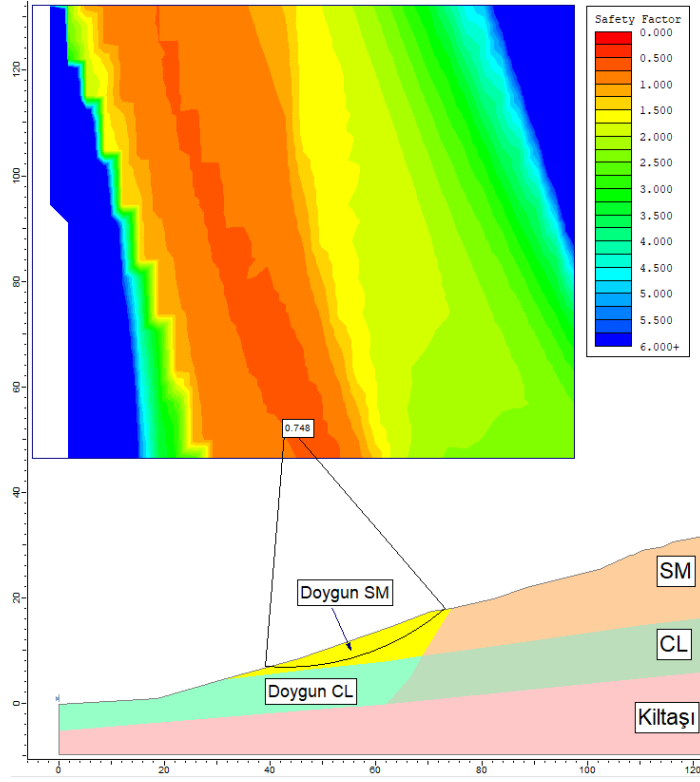
Şev duraylılık analizleri, duraysızlık sorununa net bir çözüm ortaya koyabilmek için iki farklı şekilde yapılmıştır. İki farklı şekilde analizlerin yapılmasının sebebi ise duraysızlık sorununa sebep olan koşulların net olarak ortaya çıkarmaktır. Detaylı analizlere geçilmeden önce arazi incelemelerinde duraysızlığa sebep olan en kuvvetli ihtimalin su deposu ve/veya su hattından kaynaklanan su sızıntıları olduğu düşünülerek doygun zemin durum için modellemeler yapılmıştır. Aynı şevde doğal zemin durumu da göz önüne alınarak yeni analizler yapılmıştır. Bu analizlerin tamamında Rocscience (2014) tarafından üretilmiş Slide v.06 paket programı kullanılmıştır.

4. 1. 1. Doygun zemin koşullarındaki duraylılık analizi

Çalışma alanında, Şekil 3'te su deposu civarının görünümünü içeren şekilde daha yüksek eğimli olan bölge görülmektedir. Bu bölgede mevsimsel yağışlar ve çevresel sular etkisi dahilinde herhangi bir şev duraysızlığına rastlanmamıştır. Yapılan incelemelerde su deposu ve/veya su hattından kaynaklanan uzun süreli su sızıntıları mevcut şevde oluşan duraysızlığın ana sebebi olduğu tahmin edilmiş olup hareketin gerçekleştiği zamana kadar meydana gelmiş su kaçağı miktarı belirlenmemiştir. Bu durumun tahmin edildiği gibi duraysızlığa sebebiyet verip vermediğinin ortaya konabilmesi için geriye dönük analizler yapılmıştır (Şekil 7).

Bu analizlerde, su sızıntıları sebebiyle zeminin doygun hale geçtiği esastan yola çıkılarak zeminin doygun haldeki mühendislik parametreleri kullanılıp analizler yapılmış ve analiz sonuçları gerçek durumda kayan bölge (Şekil 8) ile karşılaştırılmıştır.

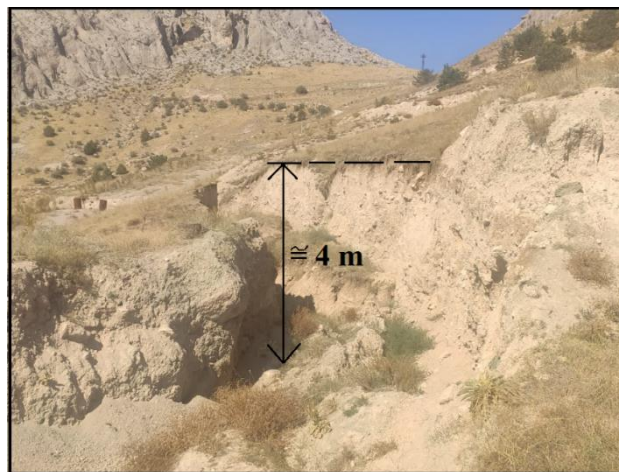
Hareketin meydana geldiği bölgede yaklaşık 3.0 – 4.0 m derinliklere kadar bir kaymanın meydana gelmiş olduğu görülmüştür (Şekil 9). Yapılan analiz sonuçları da incelendiğinde kayma derinliğinin gerçek durumdakine benzer olarak 3.0-4.0 m'ye ulaşan muhtemel kayma daireleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu kayma dairelerinden 0.748 güvenlik katsayısına sahip olan kayma dairesinin gerçek durumda meydana gelmiş olan kütle hareketini temsil ettiği görülmektedir.



Şekil 7. Doğun durum için yapılan analiz sonucu



Şekil 8. Kayan bölgenin çalışma alanındaki görünümü

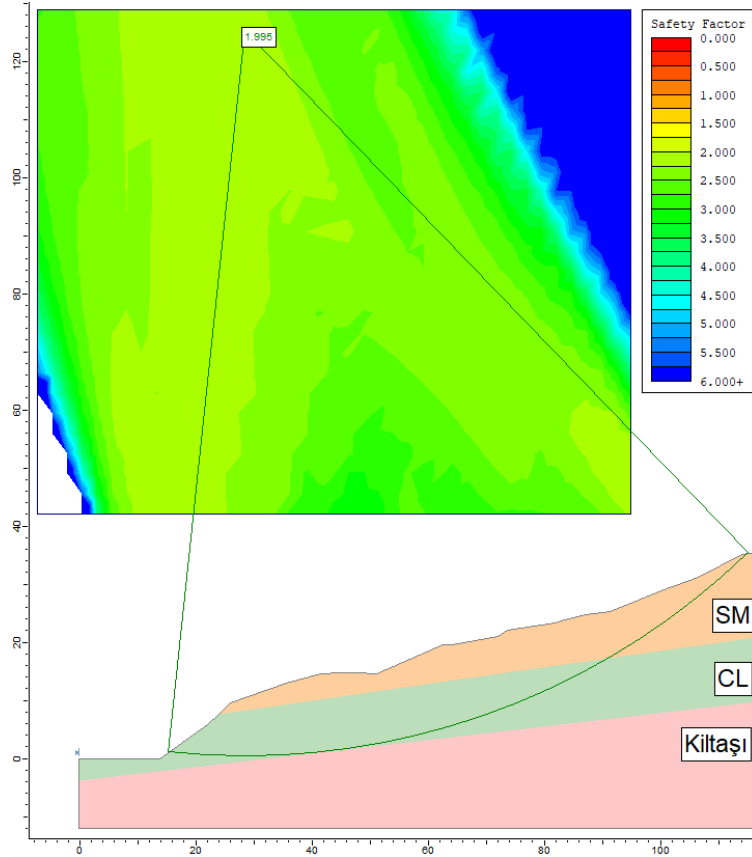


Şekil 9. Kayan kütle derinliğinin arazideki görünümü

4. 1. 2. Doğal zemin koşullarındaki duraylılık analizi

Bu çalışmada yapılan geriye dönük analizin sonucu, meydana gelmiş olan kayma hareketinin sebebinin zeminin doymun duruma geçmesi olduğunu ortaya koymuştur. Ancak bu kütle hareketi tüm şev boyunca meydana gelmemiştir. Aynı şevde su sızıntılarının olmadığı ve aynı eğim özellikleri göz önüne alınarak doğal zemin koşulları altında hem statik hem de dinamik durum için yeni analizler yapılmıştır. 2011 yılında Van

ilinde çalışma alanını da içine alan bölgede meydana gelen depremlerde PGA değerlerinin 0.182-0.251 g değerlerine ulaştığı bilinmektedir (Sayın vd., 2014). Çalışma alanı için dinamik durum modellemelerinde kullanılacak PGA (en büyük yer ivmesi) değeri AFAD'ın Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak 0.275 g olarak belirlenmiştir. İlk olarak şev duraylılık analizleri statik durum için değerlendirilmiştir. Statik durumda şev güvelik katsayısı 1.995 olarak belirlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Statik durum analizinden elde edilmiş olası kayma dairesi

Bu durumda şevde statik koşullar altında herhangi bir duraysızlık beklenmemektedir. Çalışma alanı deprem riski açısından yüksek riskli bir bölgede bulunduğundan dinamik durum analizlerinin de dikkate alınması önem arz etmektedir. Bu sebeple yapılan dinamik koşul analizlerinde (PGA=0.275 g) şevin güvenlik katsayısının 1.000 olduğu görülmüştür (Şekil 11). Bu değer kritik dengeyi temsil ettiğinden bu şev için önlem alınması gerekmektedir. Şev duraysızlıklarında teknik olarak en ekonomik çözüm basamaklandırma işlemidir. Basamaklandırma yönteminin amacı şev eğimini düşürmek, kayma ihtimali olan bölgeden ağırlık eksiltmek ve dolayısıyla kaydırıcı kuvvetlerin etkisini azaltmaktır. Ancak burada tüm şevi etkileyen bir durum söz konusu değildir.

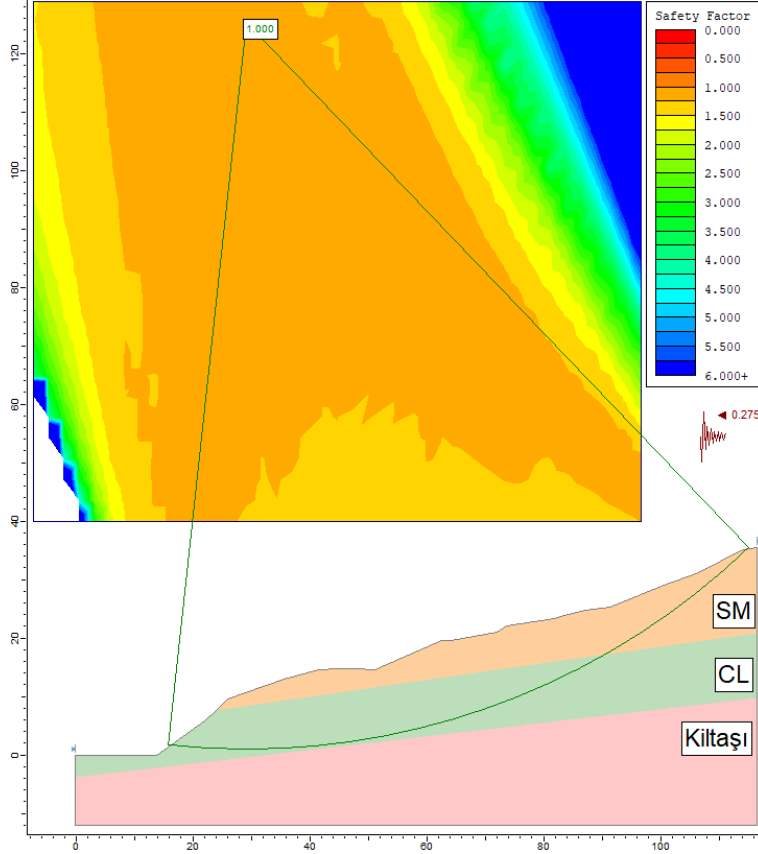
Sadece su kaçakları olan bölgede bir duraysızlık meydana gelmiştir. Su kaçakları ortadan kaldırıldığında mevcut eğimde doğal durumda duraysızlık beklenmemektedir. Bu sebeple su kaçakları ortadan kaldırıldıktan sonra basamaklandırma işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Şevde meydana gelmiş olan duraysızlık incelendiğinde sorunun eğim kaynaklı olmadığı, esasında duraysızlığın zeminin doymun hale geçmesi sonucunda mühendislik parametrelerinin değişmesiyle meydana geldiği belirlenmiştir. Bu sebeple harekete geçen bölge ve gelecekteki olası su kaçakları sebebiyle duraysızlık gerçekleşmesi muhtemel bölgeler için şev topuğuna bir betonarme istinat duvarı tasarlanması ile parametre değişimleri sonucu da meydana

gelebilecek duraysızlıkların engellenebileceği ön görülmektedir.

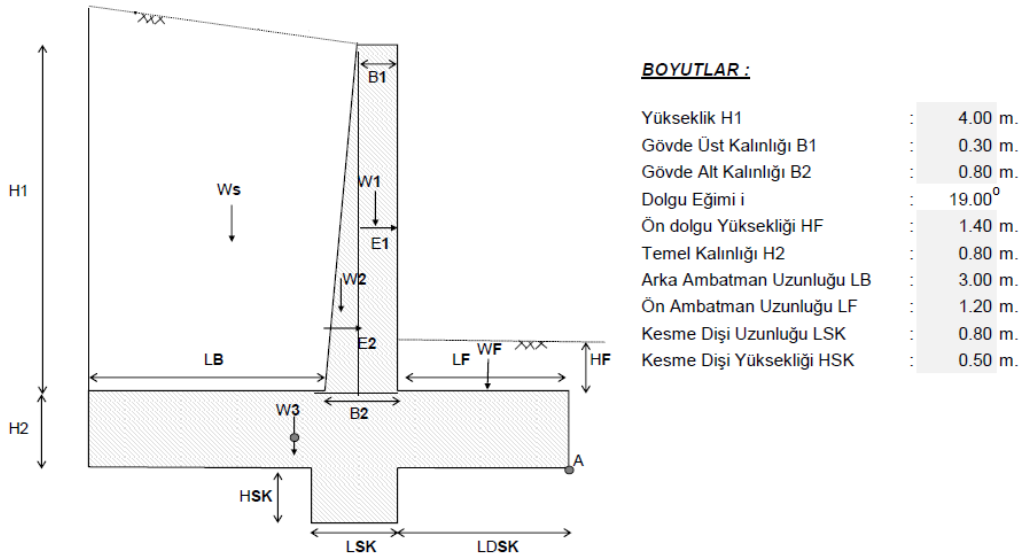
4. 2. Önlem yapısı analizleri

Uygulanacak betonarme istinat duvarı ve geometrisi kullanılan paket program içeriğinde

bulunmamaktadır. Bu sebeple Şekil 12’de verilen boyutlardaki betonarme istinat duvarı modeli programda farklı bir malzeme olarak tanımlanmıştır. Duvar için Tablo 3’te verilen malzeme özellikleri girdi parametreleri olarak kullanılmıştır.



Şekil 11. Dinamik koşul için elde edilmiş minimum muhtemel dairesel kayma yüzeyinin konumu

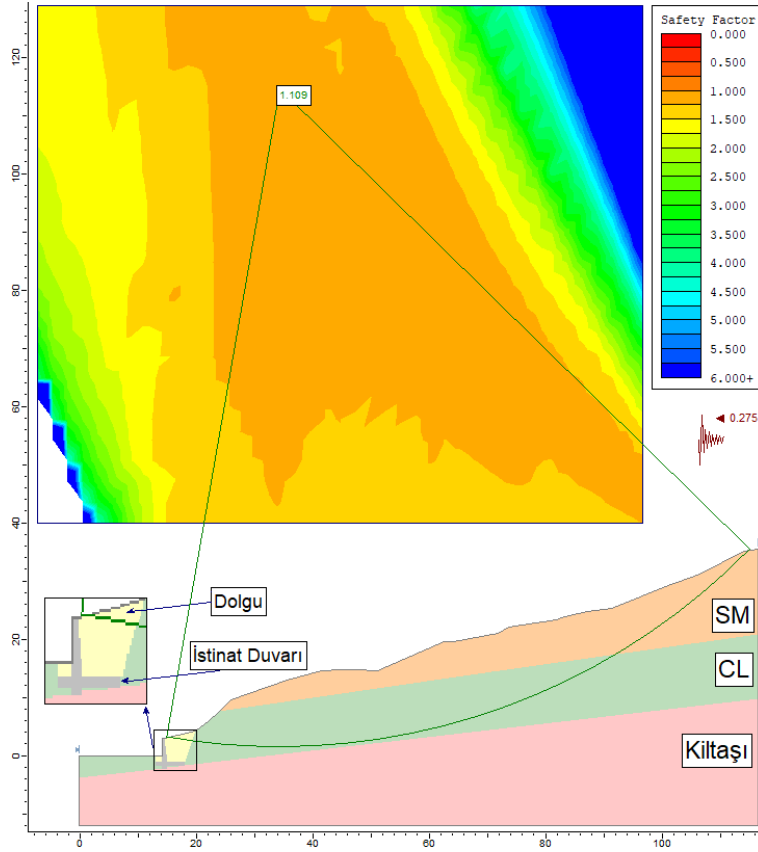


Şekil 12. Betonarme istinat duvarının geometrisi ve boyutları

Tablo 3. Analizlerde kullanılan betonarme istinat duvarına ait mühendislik parametreleri

Betonarme İstinat Duvarı Girdi Parametreleri	
Birim Hacim Ağırlık (γ), kN/m ³	24
Kohezyon (c), kPa	2000
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)°	35

Tüm bu veriler kullanılarak yapılan duraylılık analizleri dinamik durum koşulları altında yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda en düşük güvenlik katsayısı 1.109 olarak belirlenmiştir. Ayrıca 1.200' e kadar olan ve topuğu kesen kayma daireleri şev topuğuna inşa edilmesi planlanan betonarme istinat duvarı tarafından karşılanmaktadır (Şekil 13).

**Şekil 13.** Betonarme istinat duvarı inşası sonrası dinamik durum için olası kayma daireisi

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, limit denge analizi Bishop Yöntemi kullanılarak daha önce meydana gelmiş olan kütle hareketinin yenilme mekanizması ve yenilme meydana gelen şevin duraylı hale gelmesi için önerilen önlem yapısının yeterli olup olmadığı dinamik koşullar altında incelenmiştir. Aynı şevde hareketin meydana gelmediği bölgeler ise ayrıca değerlendirilerek muhtemel duraysızlık koşullarının önüne geçmek için çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Çözüm önerisi olarak en ekonomik çözüm olan basamaklandırma yönteminden ziyade betonarme istinat duvarı önerilmiştir. Bu öneriye ulaşmadan önce yapılan analizler iki aşamada yapılmıştır. Bu aşamalardan önce arazide yapılan incelemeler sonucunda çalışma alanında bulunan su deposu ve/veya su hatlarından sızıntıların olduğu gözlemlenmiştir. Su deposu ve su hatlarının kütle hareketi bölgesine olan yakınlığı dolayısıyla

sızan sular zemini doygun hale getirmiş olup mühendislik parametrelerinin değişmesine sebep olduğu düşünülmüştür. İlk aşamada doygun durum için yapılan statik koşullardaki geriye dönük analizler neticesinde güvenlik katsayısının 0.748 olduğu görülmüştür. Yapılan bu analizler sonucunda ortaya çıkan kütle hareketinin gerçekte meydana gelmiş kütle hareketi ile benzer olduğu görülmüştür. Yapılan bu analizlerde statik durum koşullarının kullanılmasının sebebi ise kütle hareketinin gerçekleştiği zaman diliminde çalışma alanını etkileyecek herhangi bir depremin kaydedilmemiş olmasıdır. İkinci aşamada ise hareketin meydana gelmediği şev için su sızıntısının olmadığı doğal zemin koşulları göz önüne alınarak statik ve dinamik (PGA=0.275g) durum analizleri sonucunda güvenlik katsayıları sırasıyla 1.995 ve 1.000 olarak bulunmuştur. Bu hususlar göz önüne alındığında kütle hareketinin şevin mevcut eğiminde ve doğal zemin

koşullarında meydana gelmeyeceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sebeple şev duraylılığının devamı için önlem alınması gereklidir. Bu durum göz önüne alındığında hem şev topuğunda ağırlık olması sebebiyle hem de şev kaynaklı yükleri karşılması için şev topuğuna bir betonarme istinat duvarı inşasının uygun bir çözüm olduğu ön görülmüştür. Betonarme istinat duvarı modellemesi sonrası güvenlik katsayısı 1.109'a çıkmaktadır. Ayrıca 1.200'den küçük olan ve şev topuğunu kesen olası kayma daireleri de istinat duvarı tarafından bertaraf edilmektedir. Tüm bu veriler ışığında çalışma bölgesindeki su deposu ve su hatları da göz önüne alındığında basamaklandırma işlemi hem su deposunu hem de su hatlarını etkileyeceğinden dolayı çözüm önerisi olarak sunulmamıştır. Basamaklandırma yönteminin yerine betonarme istinat duvarı önerilmesinin diğer bir sebebi de inşa edilecek istinat duvarının arka tarafında granüler malzemeden yapılacak dolgu, drenaj sistemleri ve barbakanlar ile çalışma alanında etkili olacak çevresel sular ve olası su sızıntılarının problem teşkil etmesinin önlenmesidir. 2011 yılında Van ilinde çalışma alanını da içine alan bölgede meydana gelen depremlerde PGA değerlerinin 0.182-0.251 g değerlerine ulaştığı bilinmektedir. Bunun sonucunda dinamik analizlerde kullanılan $PGA=0.275$ g değerinin yeterli bir değer olduğu anlaşılabilmektedir.

Teşekkür

Yazar, bu çalışmada arazi çalışmaları ve laboratuvar deneylerini yapan Geo Tek Mühendislik İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti.'ye, Hazar Zemin ve Yapı Malz. Lab. Sondaj Jeoloji Hizm. San. ve Tic. Ltd. Şti.'ye, desteklerinden dolayı Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Dr. Mustafa Kanık'a, makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör/editörlere ve hakem/hakemlere teşekkür eder.

Kaynaklar

- Akbaş, B., (2015). Probabilistic slope stability analysis using limit equilibrium, finite element and random finite element methods. Master Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- Akbulut, İ., İlker, Ç. A. M., Aksoy, T., Çağlan, D. ve Ölmez, T. (2013). Açık ocaklarda şev duraysızlığı ve geriye dönük analizlere bir örnek: Afşin-Elbistan Kışlaköy açık kömür ocağı.

Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 147(147), 115-126.

- Alemdağ, S. (2016). Toprak dolgulu barajlarda gövde duraylılığının limit denge ve sayısal analiz yöntemleri ile değerlendirilmesi: Türkiye'den bir atık barajı örneği. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2), 157-173. <https://doi.org/10.17714/gufbed.2016.06.015>
- Alemdag, S., Kaya, A., Karadag, M., Gurocak, Z. and Bulut, F. (2015). Utilization of the limit equilibrium and finite element methods for the stability analysis of the slope debris: an example of the Kalebasi District (NE Turkey). Journal of African Earth Sciences, 106, 134-146. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.03.010>
- Bishop, A. W. (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. Geotechnique, 5(1), 7-17. <https://doi.org/10.1680/geot.1955.5.1.7>
- Chowdhury, R., Zhang, S. and Flentje, P. (2004). Reliability updating and geotechnical back-analysis. In Advances in geotechnical engineering: The Skempton conference: Proceedings of a three day conference on advances in geotechnical engineering, organised by the Institution of Civil Engineers and held at the Royal Geographical Society, (pp. 815-821). London: Thomas Telford Publishing.
- Das, B.M. (1994). Principles of Geotechnical Engineering. Boston: Cengage Learning.
- Degens, E.T. and Kurtman, F. (1978). The Geology of Lake Van. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları.
- Duncan, J.M. and Wright, S.G. (2005). Soil strength and slope stability. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Gilbert, R. B., Wright, S. G. and Liedtke, E. (1998). Uncertainty in back analysis of slopes: Kettleman Hills case history. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124(12), 1167-1176. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(1998\)124:12\(1167\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(1998)124:12(1167))
- Gürel, N. A. (1995). Van Gölü su seviyesi değişimi ve arazi kullanımına jeomorfolojik yaklaşımlar. Van Gölü'nün Su Seviyesinin Yükselmesi Nedenleri, Etkileri ve Çözüm Yolları Sempozyumu (ss. 40-49). Van.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics). (2007). The complete ISRM suggested methods for rock characterization. In: Ulusay, R., Kazan, Hudson, J.A. (Eds.), Testing and Monitoring. Offset Press, Ankara, p. 628.

- Kadıoğlu, M. (1995). Van Gölü'ndeki su seviye yükselmesinin meteorolojik faktörler ile olan ilgisi. Van Gölü'nün Su Seviyesinin Yükselmesi Nedenleri, Etkileri ve Çözüm Yolları Sempozyumu (21-38). Van.
- Kaya, A., Alemdağ, S., Dağ, S. and Gürocak, Z. (2016). Stability assessment of high-steep cut slope debris on a landslide (Gumushane, NE Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75(1), 89-99. <https://doi.org/10.1007/s10064-015-0753-6>
- Kempe, S., Degens, E. T. ve Göncüoğlu, M. C. (1978). Dünyanın en büyük soda gölü; Van Gölü. *Yeryuvarı ve İnsan*. 3(4).
- Luckman, P. G., Der Kiureghian, A. and Sitar, N. (1987). Use of stochastic stability analysis for Bayesian back calculation of pore pressures acting in a cut at failure. In Proc., 5th Int. Conf. on Application of Statistics and Probability in Soil and Struct. Engr. University of British Columbia Vancouver, Canada.
- Ozbay A. and Cabalar A. F. (2015). FEM and LEM stability analyses of the fatal landslides at Çöllolar open-cast lignite mine in Elbistan, Turkey. *Landslides*, 12(1), 155-163. <https://doi.org/10.1007/s10346-014-0537-2>.
- Özkaymak, Ç. (2003). Van şehri yakın çevresinin aktif tektonik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Rai, R. (2017). Factors affecting slope failure. Lecture Notes of Chapter 2. <https://seismicconsolidation.com/wp-content/uploads/2020/03/factors-affecting-slope-failure-1.pdf>
- Rocscience Inc. (2014). Slide v. 06 Software. 439 University Ave. Ste. 780, Toronto, Canada. <https://www.rocscience.com>
- Sayın, E., Yon, B., Calayir, Y. And Gor, M. (2014). Construction failures of masonry and adobe buildings during the 2011 Van earthquakes in Turkey. *Structural Engineering and Mechanics*, 51(3), 503-518. <http://dx.doi.org/10.12989/sem.2014.51.3.503>
- Tiwari, B., Brandon, T. L., Marui, H., and Tuladhar, G. R. (2005). Comparison of residual shear strengths from back-analysis and ring shear tests on undisturbed and remolded specimens. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 131(9), 1071-1079. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2005\)131:9\(1071\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:9(1071))
- TS 1900-1. (2006). İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 5-52.
- TS 1900-2. (2006). İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 2: Mekanik özelliklerin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 15-51.
- Wesley, L. D. and Leelaratham, V. (2001). Shear strength parameters from back-analysis of single slips. *Geotechnique*, 51(4), 373-374. <https://doi.org/10.1680/geot.2001.51.4.373>
- Yılmaz, G. ve Özsoy E. A. (2003). Bozüyük, Yediler Yerleşim Alanı kaymasının stabilite analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi* 16(2): 27-44.
- Zhang, J., Tang, W. H. and Zhang, L. M. (2010). Efficient probabilistic back-analysis of slope stability model parameters. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(1), 99-109. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000205](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000205)
- Zhang, L. L., Zhang, J., Zhang, L. M. and Tang, W. H. (2010). Back analysis of slope failure with Markov chain Monte Carlo simulation. *Computers and Geotechnics*, 37(7-8), 905-912. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2010.07.009>

Deniz içi nakil hatlarında polimer esaslı CNT takviyeli kompozit boruların kullanılabilirliği

Usability of polymer based CNT reinforced composite pipes in marine transport lines

Mustafa TAŞYÜREK*^{1,a} Şerafettin EKİNCİ^{2,b}

¹Selçuk Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Gövde ve Motor Bakımı Bölümü, 42003, Konya

²Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 42003, Konya

• Geliş tarihi / Received: 13.07.2020 • Düzelttilerek geliş tarihi / Received in revised form: 13.01.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 29.03.2021

Öz

Bu çalışmanın amacı, karbon nano tüp (CNT) takviyeli plastik boruların deniz suyu içerisinde kullanılabilirliği ve bunun sonucunda mekanik özelliklerdeki değişimi incelemektir. Deneylede kullanılan cam/epoksi borular, $[\pm 55]_3$ fiber oryantasyonuna sahip olup; filaman sarım metoduyla üretilmiştir. İkincil takviye malzemesi olarak ağırlıkça %1 oranında CNT kullanılmıştır. Deneyle numuneleri, kuru ortamın yanı sıra 2,3,4,6 ve 9 aylık reel sürelerle deniz suyu içerisinde bekletildikten sonra çekme ve sertlik testlerine tabi tutulmuşlardır. Testler, ASTM D 2290 standardına göre split disk metoduna uygun halka numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, referans malzemesi cam takviyeli plastikten (CTP) elde edilen sonuçlar ile kıyaslama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre CNT'lerin kompozit yapı içerisine girmiş halde üretilmesinin delaminasyon hasarını azalttığı ve bunun sonucunda da kuru ortam şartlarında %21, uzun dönem kullanımlarda ise yaklaşık %18 mukavemet artışı sağladığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Boru nakil hatları, Deniz suyu, Filaman sarım, Karbon nanotüp

Abstract

The aim of this study is to investigate the usability of carbon nanotube (CNT) reinforced plastic pipes in seawater and consequently the changes in mechanical properties. The glass / epoxy tubes used in the experiments have fiber orientation of $[\pm 55]_3$ and are produced by filament winding method. 1% CNT was used as secondary reinforcing material. The test specimens were subjected to tensile and hardness tests after being kept in seawater for real periods of 2,3,4,6 and 9 months in addition to dry environment. Tests were performed on ring samples according to the split disc method based on ASTM D 2290 test standard. The results were compared with the results obtained from glass reinforced plastic (GRP). According to the results, it was found that the production of CNT reinforced composite structure reduced the delamination damage and as a result of this it provided 21% strength increase in dry environment conditions and also increased the strength in long term usage by approximately 18%.

Keywords: Pipeline transmission lines, Sea water, Filament winding, Carbon nanotube

*a Mustafa TAŞYÜREK; mtasyurek@selcuk.edu.tr, Tel: (0505) 532 36 23, orcid.org/0000-0001-9016-8584

^b orcid.org/0000-0003-0885-5903

1. Giriş

Günümüzde elyaf takviyeli kompozit malzemelerle hayatın her noktasında çok sık karşılaşmaktadır. Gerek akademik gerekse ticari bakımdan tercih edilen bu malzemelerin kullanımı; havacılık, otomotiv, denizcilik, nakliye, askeri ve yapısal alanlarda gittikçe artmaktadır (Ghasemi, vd., 2014). Bilim insanları tarafından, birden çok takviye malzemesi kullanılarak kompozit oluşturmak, takviyelerin boyutlarını çeşitlendirmek, biyolojik kökenli malzemeler kullanmak, çeşitli tahmin ve analiz programlarından yararlanılarak nano boyuta indirmek gibi farklı yöntemler araştırılmaktadır (Bellucci, vd., 2019; Bousfield, vd., 2018; Gemi, 2018; Mousavi ve Khoramshad, 2019; Prabhu, 2015). Bazı araştırmacılar çalışmalarında, CNT'lerin sıra dışı özelliklerinden ve bunların matrikse transfer edebilmelerinden dolayı, polimer matriks içerisinde takviye malzemesi kullanmaya odaklanmışlardır (Jesthi ve Nayak, 2019; Kim, vd., 2014; Mittal vd., 2015; Nayak, 2019).

CNT'ler, elyaf-matriks ara yüzey bağını kuvvetlendirmek amacıyla geleneksel elyaf takviyeli kompozitlerde ilave takviye bileşeni olarak tercih edilmeye başlanmıştır (Jin, vd., 2019; Matveeva, vd., 2019). Çünkü elyaf matriks arasındaki arayüz, sadece elyaf ve reçine arasındaki bağlantı köprüsü değil; aynı zamanda harici yükün matristen fibere iletimini sağlayan bir vasıta olarak görülmektedir (Xiao vd., 2018). Bu sebeple arayüz yapısı, özellikleri ve bağlanma modu, kompozit yapının hasar modlarını ve hasarın etkisini doğrudan etkileyen bir unsurdur. (Chen vd., 2018); CNT takviyeli kompozit oluştururken imalat aşamasının önemine değinmiş ve takviye malzemesinin matriks ile yeterli miktarda ıslatılmamasının, zayıf mekanik bağlanmaya yol açacağından bahsetmişlerdir. Burada mukavemet artırımının elde edilebilmesinin ve CNT'nin yük transferini olumlu etkileyebilmesinin yolunun, arayüz mikro yapısının iyi optimize edilerek uygun üretim şartlarının sağlanmasından geçtiği vurgulanmıştır.(Irshidat, vd., 2016) ise, bir elyaf/epoksi karışımının güçlendirilmesinde CNT tercih etmişler ve mukavemet artışında etkili olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmalarında, sertlik ve tokluk artışının elde edilmesinin yanı sıra kompozit hata modlarından tabaka ayrılmasını geciktirebildiğini; bunun nedeninin ise epoksi ve elyaflar arasındaki yapışmayı artıran CNT ile zenginleştirilmiş elyaf tabakasının olduğunu vurgulamışlardır. Mekanik yük altında çalışan cam elyaf takviyeli plastiklerin yorulma ömrünü arttırmak için, matriks malzemesinin nano

malzemelerle takviye edilmesinde bu arayüzey kuvvetlendirici etkiyi kullanmanın büyük bir potansiyeli vardır (Liu vd., 2018; Xiao vd., 2018). Ayrıca, CNT takviyesi yapmanın tabakalı kompozit yapılarda hasar yollarını sınırlamasından dolayı kırılma tokluğunu, tabakalar arası kayma mukavemetini arttırdığı ve delaminasyon hasarını geciktirdiği ve azalttığı da araştırmalarda belirtilmiştir (Hassan vd., 2019; Kaynan, vd., 2018).

Nanomalzemeler, belirli özellikler için tasarlanabilen ve gelişmekte olan sıra dışı malzemeler ailesidir. Bu malzemeler, dizayn edip geliştirmek istediğimiz malzemelerin davranışlarında önemli değişiklikler meydana getirebilir. Deformasyon ve kırılma dayanımı, süneklik, sertlik, mukavemet, aşınma, yorulma, sürtünme, korozyon direnci, termal ve kimyasal stabilite ve elektriksellik gibi özellikler bunun için uygundur (Gu, vd., 2018; Kara, vd., 2019; Makowiec ve Blanchet, 2017; Rahmanian vd., 2013; Taşyürek and Tarakçioğlu, 2017a, 2017b; Zhang vd., 2019).

Dünyada ve Türkiye'de hızla gelişen nano teknolojinin önümüzdeki yıllarda birçok alan için ne kadar vazgeçilmez olduğu daha iyi anlaşılmaktadır. Özellikle Tıp, savunma, tekstil, enerji, elektronik, mekatronik ve gıda gibi alanlarda nano teknoloji ile elde edilecek ürünler, insanoğlunun hayatını kolaylaştırmaktadır (Assatse, vd., 2019; Bajpai vd., 2018; Grujicic, vd., 2008; Tang, vd., 2017). Bu alanlardan birisi de denizcilik sektörüdür (Ng, vd., 2013). Ülkemizdeki lojistik hizmetleri, son yıllardaki kamu ve özel sektör altyapı yatırımlarının artması sonucu ciddi oranda gelişmiştir. Boru hatları, büyük miktarda su, içecek, petrol ve doğal gaz gibi akışkanları başka bir bölgeye nakletmedeki en ekonomik yoldur. Fakat kullanılan boru tipleri oldukça sınırlıdır. Bu sınırın kaldırılması veya genişletilmesi için alternatif nakil hattı oluşumlarının hayata geçirilmesi gerekmektedir. Bu da mevcut şartların, nano teknolojinin getirmiş olduğu avantajlarla desteklenerek bir ilerleme elde edilmesini gerekli kılmaktadır.

Denizlerdeki tuzluluk oranları %3.1-3.8 arasında değişir. Ortalama tuzluluk değeri ise, yaklaşık olarak %3.5 olarak kabul edilmektedir. Ortalama yoğunluk ise, su yüzeyinde 1.025 g/ml'dir. Normal suya göre yoğunluk farkının nedeni deniz suyunda yer alan tuz taneciklerinin kütlelerinden kaynaklanmaktadır. Deniz suyundaki tuz oranı, bölgelere göre farklılık göstermektedir. Ülkemizin 3 tarafının denizlerle çevrili olması ve jeopolitik

konumunun önemi sebebiyle deniz içi araştırma faaliyetleri son yıllarda oldukça artmıştır. Bu da denizde sondaj faaliyetleri, deniz seviyesi altından içme suyu nakil hatları, petrol arama faaliyetleri gibi konularda çeşitli kompozit malzemelerin tuzlu deniz suyu içerisinde kullanılabilirliğinin önemini oldukça arttırmıştır. Deniz seviyesinin alt kısımlarında, nakil hatlarında kullanılan boruların içlerinden nakledilen sıvı veya gazların değişebilirliğinin yanı sıra, dış yüzeyler sadece saline etkili deniz suyu ile temas halinde olmaktadır. Suyun depolaması ve nakledilmesinde, termoplastik kökenli plastik malzemelerin yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Fakat deniz suyu ve okyanus suyu gibi saline etkili sular içerisinde, termoset plastiklerin bekletilmelerinin önemi, denizlerin kullanımı açısından da son yıllarda artmıştır. Çünkü, uzun dönem uygulamalarında malzemelerin nasıl davranacağını bilmek oldukça önem taşımaktadır (Tsotsis, vd., 2001). Araştırmacıların bu ve benzeri sebepler neticesinde gerçek deniz suyu içerisinde yaşlandırarak, farklı yönlerden mekanik özelliklerini araştırdıkları çalışmalara da rastlanmaktadır. (Davies, vd., 2005) deniz suyu uygulamalarda kullanılmak üzere karbon kökenli kompozit malzemeleri 1 ve 3 aylık yaşlandırma sürelerine tabi tutarak hidrostatik basınç testleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında deniz suyuna maruz bırakma süresinin mekanik özellikleri olumsuz etkilediğini, fakat karbon takviyesinin geleneksel malzemelere kıyasla daha yüksek mekanik dayanım test sonucu gösterdiğini bildirmişlerdir.

(Öndürücü ve Muzoğlu, 2019), 2 ay süreyle deniz suyunda beklettikleri doğal lif takviyeli cam elyaf kompozit numunelerin kritik burkulma yüklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmaları sonucunda deniz suyunun doğal kompozitlerin burkulma dayanımını olumsuz yönde etkilediğini bildirmişlerdir. (Deniz, vd., 2013); 3, 6 ve 9 ay sürelerde yaşlanmaya tabi

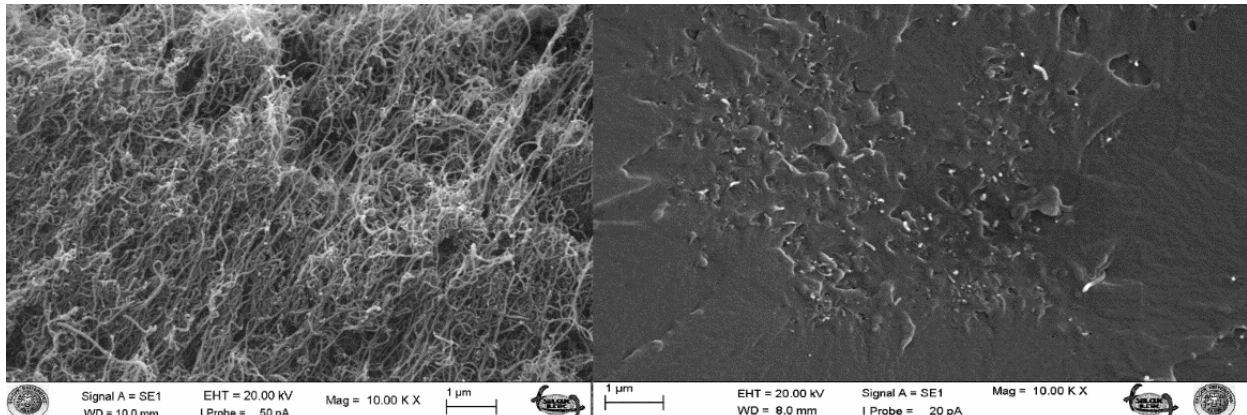
tuttukları cam elyaf-epoksi tabakalı kompozitlerin darbe davranışlarını belirleyebilmek için darbe deneyleri yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar kompozit plakaların darbe davranışı üzerine deniz suyundaki tuzun, darbe enerjisinin ve darbe ucu kütesinin önemli etkisinin olduğunu göstermişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, karbon nanotüp (CNT) ile takviye edilen cam takviyeli plastik (CTP) boruların, deniz suyunda bekletilme şartları altında mekanik özelliklerini araştırmaktır. Deniz suyunun CNT takviyeli ve CTP malzeme üzerindeki uzun süreli etkisi sonucunda, eğri ve tabakalı yapıların kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmaktadır. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak 9 ay gibi uzun bir sürede yaşlandırmaya tabi tutulan kompozit numunelerin çekme ve sertlik gibi mekanik özellikleri araştırılarak, literatürdeki boşluk doldurulmaya çalışılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki; tabakalı ve eğri kompozit yapıların CNT ile ekstra olarak takviyelendirilerek multi-skala hibrit bir yapının oluşturulması; ara yüzey özelliklerinin ve dolayısıyla mekanik özelliklerin geliştirilmesinde önemli katkı sağlamaktadır.

2. Materyal ve metot

2.1. Malzemeler

Nanokompozit yapı elde etmek için tercih edilen reçine bileşenleri Ciba Geigy Bisphenol A epoksi ve sertleştirici maddesidir. Bu reçine birincil olarak 1200 tex E Cam elyafı ile takviyelendirilmiştir. VWR firmasından temin edilen çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) tozların bireysel olarak çekilen ham görüntüsü ve matriks ile karıştırıldıktan sonra elde edilen kompozit karışımın taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü Şekil 1'de görülmektedir. Ayrıca CNT'lerin genel özellikleri Tablo 1'de, epoksi matriks ile cam elyafın özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Kullanılan karbon nanotüpün orijinal hali ve matriksle karıştırma sonrası homojen karışım SEM görüntüsü

Tablo1. Karbon nanotüpün fiziksel özellikleri

Özellik	Değer
Dış Çap	< 8 nm
İç Çap	2-5 nm
Kül Oranı (ağırlıkça)	< %1.5
Safılık	> %95
Boy	10-30 μ
Özgül Yüzey Alanı	500 m ² /g
Hacimsel Yoğunluk	0.27 g/cm ³
Gerçek Yoğunluk	2.1 g/cm ³

Tablo 2. Epoksi reçine ve cam elyafı mekanik özellikleri

Özellikler	E	σ (MPa)	P (g/cm ³)	ϵ	μ (m.Pa.s)
E Cam Elyaf	73	2400	2.6	1.5-2	-
Epoksi Reçine	3.4	50-60	1.2	4-5	8000-12000

Çalışmada kullanılan deniz suyu, Doğu Akdeniz'den Antalya-Kıbrıs hattı arasından alınmıştır. Sözü edilen bölgenin deniz suyuna ait bileşen verileri şu şekildedir: Klorür 19000 mg/l, Sodyum 10500 mg/l, Magnezyum 1270 mg/l, Kükürt 880 (2640 sülfat) mg/l, Kalsiyum 400 mg/l, Potasyum 380 mg/l, Bromür 65 mg/l, Karbon 28 (140 bikarbonat) mg/l, Stronisyum 13 mg/l, Bor 5 mg/l (Doğanay ve Ulçay, 2007).

2.2. Numune hazırlama

Tüm boruların imalatında, 6 eksenli filaman sarım cihazında mandrelin dönüş hızının, elyaf taşıyıcı arabanın mandrel eksenini boyunca gidiş ve dönüş hızının, dolayısıyla elyaf sarım açısının ve boru uç kısımlarında taşıyıcı kafasının dönüşünün kontrol edildiği bilgisayar destekli bir program kullanılmıştır.

Reçinenin optimum sıcaklık aralığı, elyaf hacim oranının istenen seviyede olmasını sağlayabilmek ve elyafların yeterli miktarda ıslatılması için reçinenin orta viskoziteye sahip olduğundan dolayı 60-65 °C olarak seçilmiştir. Islatmanın istenilen seviyede olması için elyaf çekme hızı fazla tutulmamıştır.

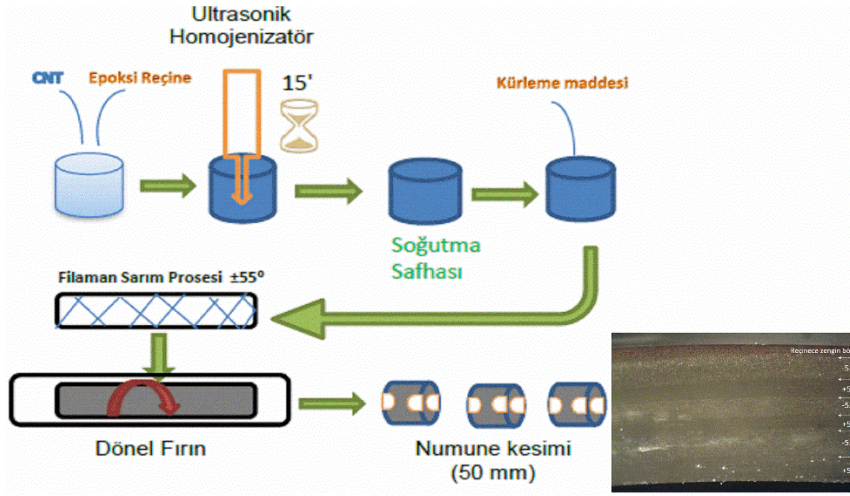
CNT'lerin epoksi içerisine karıştırılması, imalat prosesinin ilk kısımlarını değiştirmiştir. İlk olarak viskozitesi ayarlanmış reçine içerisine, ağırlıkça %1 oranındaki CNT katılarak, mekanik olarak karıştırılmıştır. CNT'nin bu oranda seçilmesindeki amaç, topaklanmayı engelleyerek, takviyenin muhtemel olumlu etkisini belirleyebilmektir. Ultrasonik ses dalgalarının direk olarak karışmamış CNT ve epoksinin üzerine uygulanarak nano boyuttaki takviye malzemesinin uçuşmasını önlemek amacıyla ön karıştırma işlemi olarak

seçilen mekanik karıştırma işlemi 5 dakika süreyle 250 d/dk dönme hızında bir mekanik karıştırıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Bandelin HD 2200 marka ultrasonik homojenizatör kullanılarak, cihaza özgü %65 güç seviyesinde 15 dakikalık sürede, homojen bir şekilde karıştırılmıştır (Taşyürek, 2014). Cihaz gücü ve frekansı matriks ve takviyenin özelliklerine göre iyi ayarlanmazsa ya istenen homojen dağılım ve dispersiyon elde edilememekte ya da fazla güç sebebiyle takviye üzerinde kırılma, bükülme, burkulma, boy kısalması, çap genişlemesi ve katman sayısının azalması gibi hasarlar meydana gelebilmektedir (Grishchuk ve Schledjewski, 2013). Ultrasonikasyon uygulamasında doğru yaklaşım ile uygulanan nano partikül takviyesi, topaklaşma yapmadan matriks içinde düzgün bir şekilde dağıtılabilmektedir. Bunun yanı sıra homojenizatörü uzun süre ve tam gücünde çalıştırarak karıştırma işlemi yapmak, CNT'lerin boylarında kısalmalara, kırılmalara ve tüp şeklinin bozularak avantajının kaybolmasına neden olacağından yüksek güce ayarlanmamıştır. Kullanılan CNT'lerin sertleştirici malzemeden etkilenmediği kabul edilmiştir. Elyaf rulolarından çıkarak bir araya gelen elyafların bant genişliği 12 mm olarak ayarlanmıştır. 600 mm/dk hızla yapılan sarım işlemi sonucunda 72 mm iç çaplı ve $\pm 55^\circ$ sarım açılı, toplamda 6 katlı numuneler üretilmiştir. Tüm numunelerin ortalama cidar kalınlığı 2.2 mm olarak kabul edilmiştir.

Tüm işlemler sonunda kütleme aşamasına geçilmiştir. Kütleme işlemindeki numuneler fırın içerisinde sürekli bir döner tertibatta döndürülmek suretiyle 135 °C ve müteakip 150 °C'de 3'er saat bekletilmiştir. Daha sonra numuneler, çekme aparatları yardımıyla mandrellerden çıkarılıp kesilerek deneylere hazır hale getirilmiştir. Tüm

numune hazırlama işlemlerinin şematik gösteriminin yanı sıra mekanik deneyler sonrasında SEM incelemelerinde ön fikir oluşturması ve boru kesitinde oluşan hasar mekanizmalarının değerlendirilmesi için $\pm 55^\circ$

sarım açısında üretilen filaman sarım kompozit boruların tabaka sayısının ve fiber oryantasyonunun anlaşılabilirdiği kesit görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Nanokompozit oluşumu, deney numunesi hazırlama prosedürünün şematik gösterimi ve elde edilen kompozit borunun cidar kalınlığına ait kesit görüntüsü

2.3. Metot

Numunelerin hazırlanması esnasında mekanik özelliklerde azalma ve numuneler arası değişim yaşanmaması için hava boşluklarının oluşmamasına ve elyaf hacim oranının sabit tutulmasına dikkat edilmiştir. Bu bağlamda ASTM D 2584 test standardına göre ateşleme kaybı testi ve ASTM D2734 test standardına göre de boşluk içeriği testleri gerçekleştirilmiştir. Boşluk içeriği denklem (1) ve denklem (2)’de görülen formüllerle deneysel olarak hesaplanmıştır.

$$V = 100 \cdot \frac{(T/d - M/d)}{T_d} \quad (1)$$

$$T_d = 100 / \left(\frac{R_1}{D_1} + \frac{r_1}{d_1} \right) \quad (2)$$

Denklem (1)’de T_d ve M_d sırasıyla teorik ve pratik kompozit yoğunluğunu temsil etmektedir. Denklem (2)’de görülen R_1 , D_1 , r_1 ve d_1 ise sırasıyla reçine ağırlığı, reçine yoğunluğu, elyaf ağırlığı ve elyaf yoğunluğunu temsil etmektedir.

Malzemelerin statik yük altındaki davranışlarını belirlemek amacıyla, tabakalı ve eğri yapılar için uygun olan halka çekme testi uygulanmıştır. Tüm testler oda sıcaklığında yapılmıştır. Halka çekme numunelerinin test edilebilmesi için ASTM D 2290 standardına uygun olarak aparat imalatı yaptırılmıştır. Çalışmada çekme testleri elektro servo motorlu dinamik test makinasında

yürütülmüştür. Test aparatının ve halka çekme test numunesinin aparata bağlanmış halinin şematik görüntüsü Şekil 3’te verilmiştir.

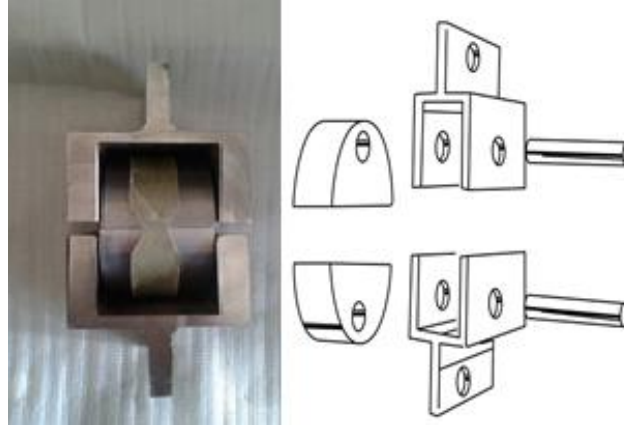
Filaman sarım metodu ile üretilen CNT takviyeli ve CTP borulardan elde edilen numuneler, ASTM D 2290 split disk metodu ile test edilmiştir. Deniz suyu bekletilen CTP boruların, teğetsel yöndeki malzeme özelliklerindeki muhtemel değişikliklerini belirlemek için kullanılan metotlardan birisi de halka çekme deneyidir. Test sıcaklığı laboratuvar oda sıcaklığı olan $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ’de, nem oranı ise $\%50 \pm 5$ değerinde sabit tutulmuştur. Test hızı asgari 2.5 mm/dk’dır. Testler 3 tekrerrül olacak şekilde yapılmış ve grafiklerde ortalama değerleri dikkate alınmıştır.

Test, $\pm 55^\circ$ sarım açılı borularda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca testin uygulanmasında kullanılan aparat, eğilme momentinin etkisi minimize edilerek dizayn edilmiştir. Dizayn esnasında, test standardında verilen aparat şeklinde önemli bir değişiklik yapılmamıştır. Bunun uygulanması için özellikle tespit pimlerinin ısı sertleştirilmeden geçirilmesine, boru numunesi iç çapı ile aparat yarım ay şeklindeki parçalarının dış çaplarının ölçülerinin birbirine yakın olmasına dikkat edilmiştir. Aksi halde numuneler önce eğmeye daha sonra çekmeye zorlanacaktır.

Numunelerin kırılma yüzeylerinden alınan görüntülerle gerçekleştirilen morfolojik analizler ZEISS Evo LS 10 model SEM cihazı kullanılarak

yapılmıştır. Yüzeyleme görüntüleme işlemi öncesinde, flu görüntüye ihtimal vermeyecek şekilde Cressington Sputter 108 kaplayıcı cihaz ile

40 mA/mbar'da 7 nm kalınlığındaki altın kaplama işlemi otomatik olarak uygulanmıştır.



Şekil 3. Halka çekme testlerinde kullanılan Split disk (halka çekme) test aparatı ve teste hazır numuneler

3. Araştırma sonuçları ve tartışma

3.1. Mekanik analiz

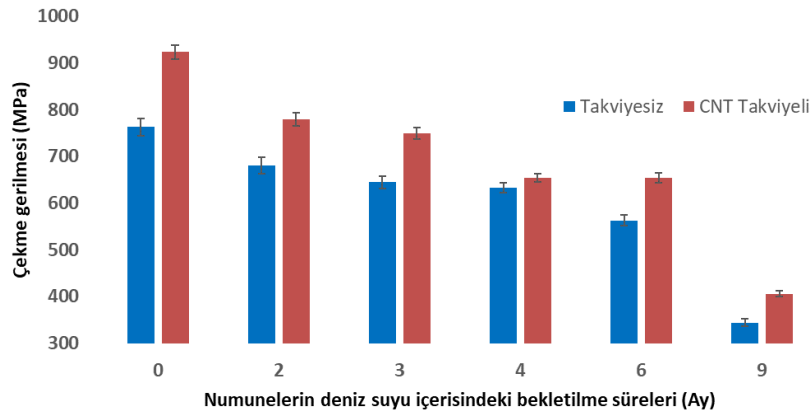
Mekanik analize başlamadan önce numuneler arası sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek için bazı fiziksel özelliklerinin de aynı olması ya da ihmal edilebilir düzeyde birbirlerine yakın olmasının gereksinimi nedeniyle gerçekleştirilen boşluk içeriği testlerinde numunelerde yaklaşık olarak %0.24 oranında boşluk olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kaliteli bir kompozit malzeme için yeterli görülerek diğer testlere devam edilmiştir. Ayrıca yakma testi sonucunda elyaf hacim oranlarının hem CTP malzeme hem de %1 CNT takviye edilmiş nano kompozit malzeme için 0,52 olarak bulunmuştur.

Halka çekme test sonuçları Şekil 4'te görülmektedir. Burada CNT takviyeli numuneler CTP numunelere kıyasla daha üstün sonuçlar vermektedir. Ayrıca numunelerin deniz suyunda bekletmesinin olumsuz bir sonucu olduğu da görülmektedir. Gerilme değerlerinde, 9 aylık bir bekletmenin sonunda %50'den fazla bir düşüş görülmektedir. Değerlere bakıldığında; kritik sürenin 6 ay olduğu anlaşılmaktadır. 6 ay sonrasında her iki tür numunede de kayda değer azalma görülmektedir. Bu değer düşüşlerinin sonucu, hasar analizi ve sertlik ölçümleri ile açıklanmaktadır. Yaklaşık olarak 6 ay sonrasında numuneler, rijitliklerini kaybetmekte, bu da gerilme değerlerindeki azalma ile sonuçlanmaktadır. Kuru şartlar altında ve su içerisinde bekleme şartlarındaki tüm deney sonuçlarında, CNT takviyesi gerilme değerini

yaklaşık olarak %20 oranda arttırmaktadır. Benzer sonuçlar, rijitlikleri artırılarak gerilme sonuçlarının azaldığının tespit edildiği betonarme bir malzemenin deney sonuçlarında da görülmüştür (Alpaslan, vd., 2015).

Deniz suyunda bekletilen numunelerin, kuru şartlardaki numunelere kıyasla rijitliklerinin azalması sonucunda tabakalar arasında matriksin yapışma özelliği zayıflamıştır. Bu da 6 tabakadan oluşturulan bir yapının çekmeye maruz kalması yerine üst üste bindirilmiş ve muhtelif yerlerinden yapılandırılmış 2'şer tabakalı yapıların çekmeye maruz bırakılması durumuna dönmüştür. Böylece, kalınlıkları azaltılmış ince cidarlı numuneler gibi davranmaya başlamışlardır. Test numunesinin inceltilmiş kısım kenarlarının ince cidarlı yapı haline dönüşmeye başlaması, çekme gerilmesinin azalmasına neden olmuştur. Bu durum CTP numunelerde Mod I kırılma durumu ile açıklanabilir. Fakat CNT takviyeli numuneler, ayrılmaya çalışan tabakaların arasında dikey konumda bir mekanik kilitleme elemanı gibi davranmıştır. Böylece çekme testi esnasında, tabakaların birbirinden ayrılmasına neden olan kuvvete zıt yönde bir mekanik kuvvet ortaya çıkmıştır. Bu da aylara göre azalan gerilme değerinin azalma oranını yavaşlatmıştır.

9 ay bekleyen numunelerin değerlerindeki düşüşler, kuru ortam şartlarında gerçekleşen testlerin değerlerinin yüzde 50'sinden daha düşük değere ulaştığından numunelerin kullanılabilirlik süresi açısından kritik eşiğin aşıldığı düşünülmüştür. Bu sebeple daha uzun sürelerde testlerin yapılmasına gerek duyulmamıştır.



Şekil 4. Muhtelif sürelerde bekletilen numunelerin halka çekme testi sonuçları

Şekil 4'te verilen sonuçlara göre görülmektedir ki; kuru ve deniz suyu şartlarına göre CNT takviyeli numunelerin çekme gerilmesi değerleri CTP numuneninkilere kıyasla daha yüksektir. CTP numunelerin çekme mukavemetlerindeki değer düşüklüğü deniz suyunda bekletilmemiş kuru numunelerde %17.40 iken deniz suyunda bekletilen numunelerde %15 civarındadır.

Azalma yüzdeleri kuru ortamda çekme testi uygulanan CNT takviyeli numunenin değeri ile kıyaslandığında nano malzemenin bireysel üstün özelliklerini kompozit yapıya aktarabildiği daha iyi anlaşılabilir. Elde edilen CNT takviyeli halka çekme numunesinin mukavemet değeri deniz suyuna maruz bırakılmamış numuneye kıyasla %21.07'lik artış gösterirken, bu değer ilk deniz suyunda bekletme ölçüm süresi olan 2. ayın sonunda %35'i geçmiştir. Son ölçüm zamanında ise %168 gibi bir değere ulaşmıştır.

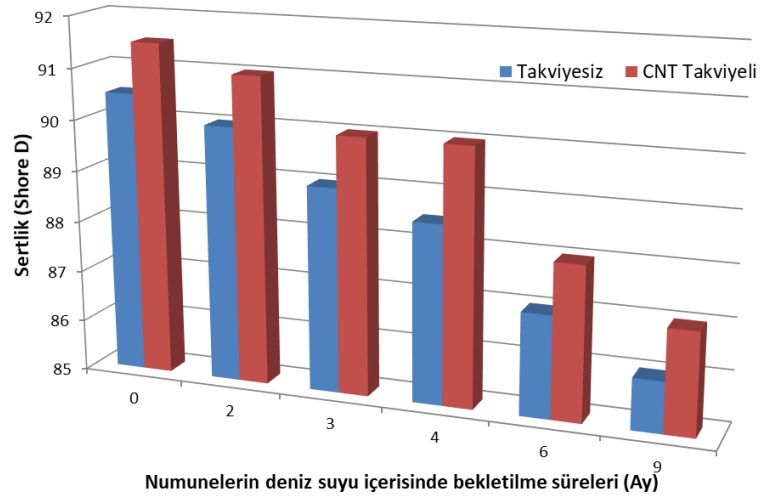
Üretim şartlarının prosedüre uygun olarak yürütüldüğünü ve sağlıklı karşılaştırma adına numuneler arası fiziki farklılıkların olmadığına ispatı olarak üretim sonrası fiziksel özelliklerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu gereksinimi karşılamak için elyafın tamamının hacimsel oranları %52 olarak tespit edilmiştir ve numuneler arası bir farklılık ölçülmemiştir. Buna ilaveten üretim şartlarının iyi olmaması nedeniyle ortaya çıkabilen hava boşluklarının varlığı da %0.22 olarak belirlenmiştir. (Clyne ve Hull, 2019) çalışmasına göre her bir %1'lik boşluk içeriğinin tabakalar arası kayma mukavemetini %7 oranında azalttığı dikkate alınır ise üretilen numunelerdeki %0.22'lik boşluk içeriğinin ciddi oranda mukavemet kaybına sebep olmadığı söylenebilir.

Epoksiler genel olarak yüksek mukavemet ve sertliğe sahip malzemelerdir. Sertliklerini uzun süreli olarak koruyabilirler. Fakat deniz suyunun aşındırıcı ve yıpratıcı etkisi epoksi üzerinde baskın

rol oynayabilir. Şekil 5 incelendiğinde CNT takviyeli ve CTP boru numunelerinin uzun süre reel deniz suyu ortamında bekletilmesi suretiyle elde edilen sertlik değerleri görülmektedir. Hem kuru şartlar altında hem de deniz suyu bekleme şartları altında CNT takviyeli numunelerin sertlik değerlerinde üstünlük göze çarpmaktadır. Aylara göre düşüş oranları tüm numuneler arasında benzerlik göstermektedir. Fakat CTP numunelerde 2. ve 4. aylarda görülen düşüş daha köklü olmuştur ve çekme davranışları ile örtüşmektedir. CNT takviyesinin ise bu kararlılığı yaklaşık olarak 4. ay sonuna kadar sürdürdüğü görülmektedir. Burada genel olarak CNT takviyeli numunelerin sertlik değerlerinde yaklaşık olarak %1.1 oranında artış söz konusudur. Kritik eşik olan sürelerden birisi olan 4. ayda yapılan ölçümde ise bu oranın yaklaşık olarak %1.7 olduğu bulunmuştur.

CNT'li numunelerin üretimi esnasında CNT'lerin ilk olarak matriks malzeme ile karıştırılması ve elde edilen nanokompozit malzemenin elyaf demetleri ile tabakalı ve eğri yapının oluşturulması sonuç verilerinin artmasına katkı sağlamıştır. Öncelikle elde edilmiş olan nanokompozit matriks ıslatma suretiyle hem elyaf arasında girdirilmiş hem de en dış tabakada yer alan elyafın dış yüzeyine yaklaşık olarak 0,4 mm'lik bir kaplama oluşturması numune dışının da sertleşmesine neden olmuştur. Zira takviyeli epoksi malzemenin mekanik özellikleri takviyesiz epoksi değerlerine göre üstünlük göstermiştir.

Burada homojen yapının oluşturulabilmesi büyük önem arz etmektedir. Homojen yapı elde edilmediği takdirde yapılan sertlik ölçümlerinin temas noktalarının elemental yapısı farklılık göstereceği için birbirinden farklı değerler ortaya çıkacaktır. Buna karşılık homojenizasyon sertlik testleri sonuçlarının birbirine yakın değerler vermesi sağlanarak sonucun geçerliliği artırılmıştır.



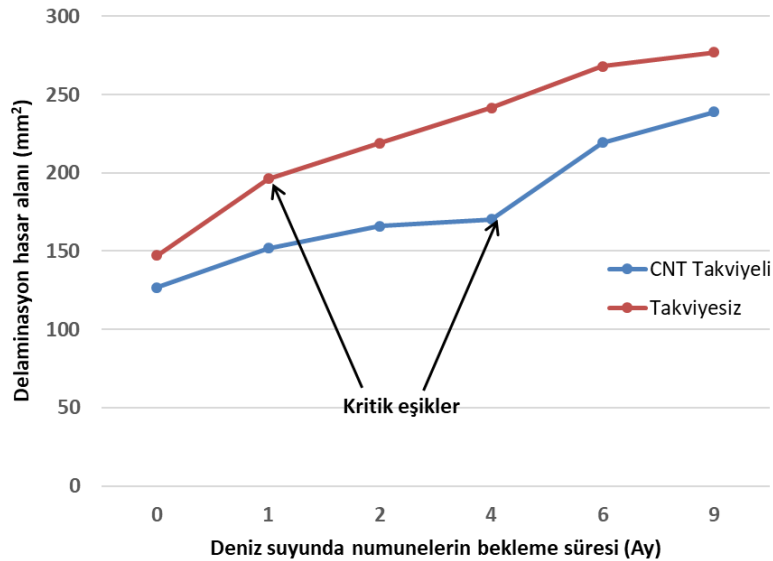
Şekil 5. Muhtelif sürelerde deniz suyu içerisinde bekletilen numunelerin Shore D sertlik değerleri

3.2. Tabakalar arası hasar analizi

Numunelerin deniz suyunda bekletilmesi, sertlik testlerinde ve gerilme değerlerindeki düşüşler, hasar alanının oluşmasında etken faktörlerdir. Bunlar yükselen delaminasyon alanı artışı ile ortaya çıkmıştır. CNT takviyeli numunelerin sonuçlarına bakıldığında; kritik eşik yine 6 ay olduğu görülmektedir. CTP numunelerin değerlerinde ise 1 aylık bekleme ve 4 aylık bekleme, iki kritik eşiktir ve tabakalar arası alanın ciddi miktarda arttığı görülmektedir. CNT'ler tabakalar arası mukavemeti artırma, eyafların birbirlerinden ayrılmasını geciktirme, epoksinin hızlı bir şekilde hasarlanmasını geciktirme gibi olumlu özelliklere sahiptir. Hasar alanlarındaki nano takviyeli ve takviyesiz numuneler arasındaki değişiklik, CNT'lerin tabakalı kompozitlerde

kullanılmasında; tabakalar arası bağlanma elemanı gibi davranmasına yorumlanmıştır. Bu sebeple tüm bekleyen numuneler kendi aralarında aylara göre değerlendirildiğinde; CNT takviyeli numunelerin kırılma mukavemetleri yüksek olmakta ve hasara karşı daha dayanıklı olmaktadır.

Halka çekme testlerinin tamamı standarda uygun olarak gerçekleştirilmiş ve tüm numuneler aynı şekle ve ölçülere sahiptir. Test sonunda numuneler, inceltirilmiş kısım olarak adlandırılan orta kısımlarının tamamen bertaraf olması şeklinde hasara uğramıştır. Ayrıca numunelerin çekme testi esnasındaki dikey konumuna göre çapraz şekilde delaminasyon hasarı devam etmiştir. Hasar yönelmesinin nedeni, boruların imalat sırasında eyafların matriks içerisindeki sarım açısının derecesidir. Ayrıca delaminasyon genişliği bir veya birkaç eyafla sınırlanmıştır.



Şekil 6. Çeşitli aylarda bekletilen numunelerin halka çekme testi sonucundaki delaminasyon hasar alanları

Şekil 7’de görüldüğü gibi hasar oluşumu CTP numunelerde kolaylıkla izlenebilmektedir. Fakat CNT takviyeli numunelerin şeffaf olmamasından

dolayı inceleme yalnızca iç yüzeylerde yapılabilmiş ve alan değerlerinin hesaplanması bu kısımlardan alınan ölçülere göre yapılmıştır.



Şekil 7. CNT Takviyeli ve takviyesiz numunelerin delaminasyon hasarının karşılaştırma ve pixel sayma yöntemi ile tespiti

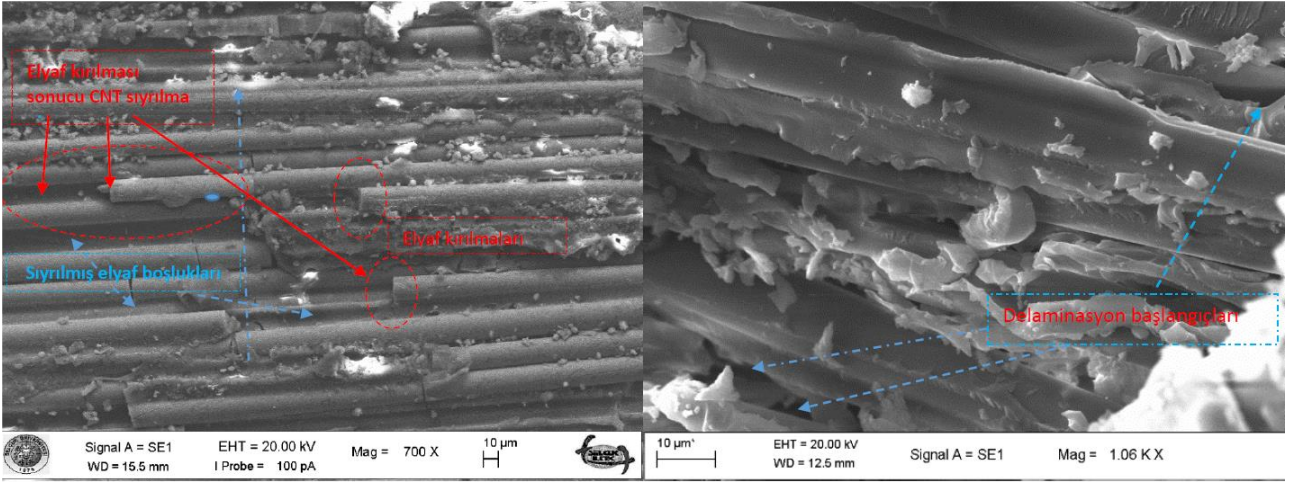
3.3. Mikroyapı incelemesi

Mikroyapı incelemesi çekme testi sonrası numunelerin kırılma yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri ile yapılmıştır. Şekil 8’de CTP numunelerin çekme testi SEM görüntüleri verilmiştir. Şekilde çok sayıda kırılan elyaf uçlarının yanı sıra çekme testi esnasında yerinden ayrılan elyafların bıraktığı boşluklar görülmektedir. Bu tür numunelerde kompozit hasarları arasında yer alan elyaf kırılması, elyaf kopmaları ve matriksten ayrılmalar sıklıkla görülmektedir. Elyafların çıkması gibi görülen hasar mekanizmalarının yaşanması elyaf-matriks arasındaki ara yüzey bağının zayıflığı ile açıklanmaktadır ve delaminasyona da neden olabilmektedir.

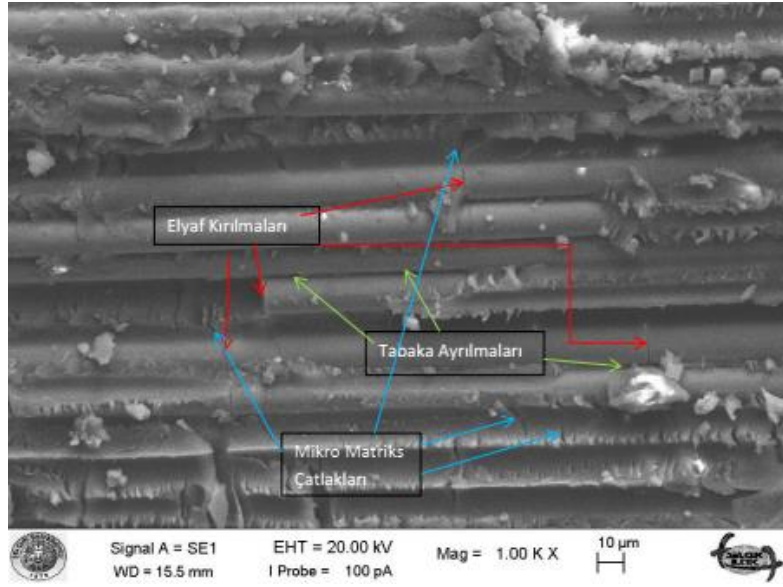
Gerçek şartlar altında, uzun süreli deniz suyu içerisinde bekletilen nanokompozit yapıların kusur oluşumu ve elyaf-matriks arayüzey geliştirme mekanizmalarının SEM görüntüleri, sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10 a-b’de verilmiştir. Şekil 9’da, yoğun delaminasyon hasarı, kırılan elyaflar ve dış yüzey mikro matriks çatlakları ile oluşum yerleri görülmektedir. Kompozit hatalarından mikro matriks çatlakları, genelde reçine tabakası denilen reçine bakımından zengin bölgede oluşmaktadır. Mikro çatlakların da, çekme kuvvetinin yönünün etkisiyle elyaflara dik yönde oluştuğu görülmektedir. Cam elyaf tabakaları arasında ise düşük matriks bölgeleri sebebiyle delaminasyon hasarlarının ve fiber kırılmalarının yoğunlaştığı görülmektedir. Elyaf demetlerine dik yönde uygulanan çekme kuvveti, onları kırılmaya zorlamalarının yanı sıra matriks üzerinde de mikro çatlak oluşumuna yol açmaktadır. Bu hataların birleşimi de delaminasyon oluşumuna sebep olmaktadır. Hata bölgeleri birbirini tetiklediği için

oluştukları bölgeler aynıdır. Bu sebeple fiberler dikey yönlü zorlamalara karşı koyamamakta ve tek başlarına dikey olarak kırılmaktadırlar. Özellikle matriks çatlaklarının tabaka ayrılma kısımları ile birleştiği noktalarda, matriks ciddi şekilde hasar görülmektedir. Deniz suyunda bekletilmeleri sonrasında yapılan testler sonucu tüm numunelerde bir miktar delaminasyon ve elyaf sıyrılması hasarının oluştuğu görülmüştür. Bu oluşum CNT takviyeli olarak üretilen numunelerde daha az oluşmakta ve bu oluşumun da daha uzun süre deniz suyunda bekletilen numunelerin SEM incelemelerinde görülebildiği söylenebilir.

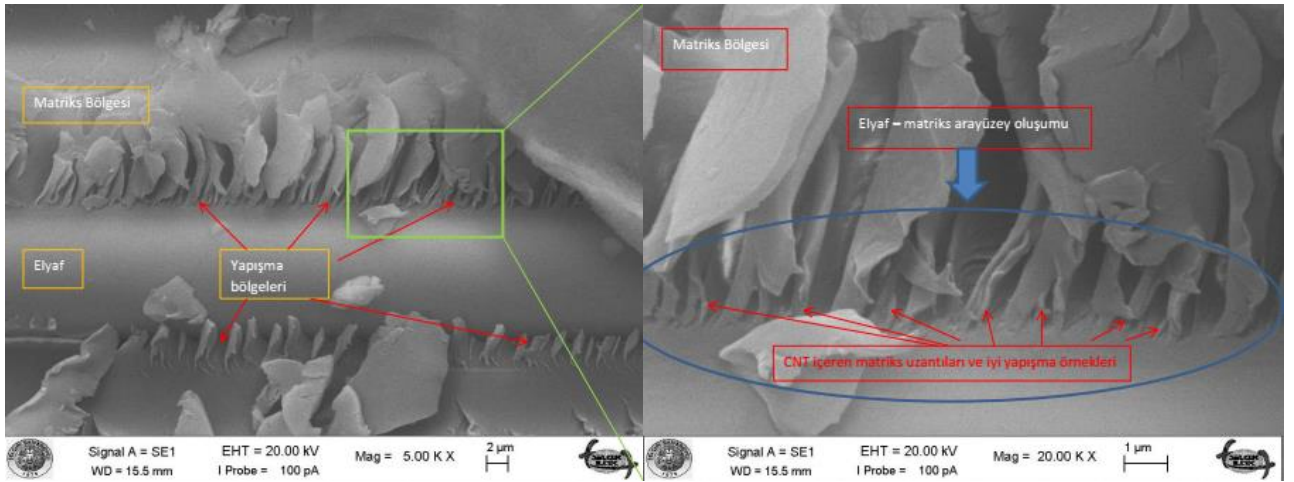
Matriks ve nano parçacıkların kompozit oluşturması sonucu, arayüzey bağını doğrudan ölçmek zordur (Lee, vd., 2014). Fakat kırılma yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri, Şekil 10 a ve b’deki gibi yapışma durumunu iyi göstermiştir. CNT’lerin fiziksel boyutları sebebiyle sayısız parçacık olarak takviye yapıldığı durumlarda, uygun üretim şartlarının da sağlanmasına bağlı olarak, matriks fiber arayüzey yapışmaları artmaktadır. Kırılma yüzeylerinden alınan örneklerin SEM fotoğraflarından anlaşıldığı üzere; CNT’ler, elyaflara dik olarak konumlandırıldıklarından dolayı delaminasyonun azaldığı görülmektedir. Bu iyileşme de kompozit hatalarının birbirini tetiklemesini olumsuz etkileyerek elyaf kırılmalarını da azaltmaktadır. Ayrıca küçük boyutlarından ve homojen dağıtılabildiklerinden dolayı, matriks içerisinde çok sayıda arayüzey oluşturarak nanokompozit bir matriks oluşumu sağlandığından; mikro matriks çatlaklarının sayısında da bir azalma yaşanmaktadır.



Şekil 8. Takviyesiz (CNT'siz) elyafli plastik malzemenin halka çekme testi sonucu gerçekleşen elyaf kırılması, elyaf sıyırılmaları ve delaminasyon hasarı başlangıçlarının oluşumu



Şekil 9. Çekme testi esnasında deniz suyu bekletilmiş CNT takviyeli CTP halka çekme numuneleri kırılma yüzeylerinde içyapı mikro çatlak ve delaminasyon oluşumu



Şekil 10. CNT'lerin elyaf - matriks arasındaki arayüzeyde iyi yapışma özelliği sergilemesiyle bağlanma durumunun oluşumu ve kompozit hatalarının engellenmesi (a) 5.00 KX büyütme (b) 20.00 KX büyütme

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, ultrasonikasyon tekniği ve filaman sarım yöntemi ile homojen yapıda multi-skala CNT/epoksi/cam elyaf hibrit kompoziti üretilmiştir. Ticari olarak satılan ve endüstriyel ölçülerde olan CTP borulara alternatif olarak üretilen bu hibrit malzemeler, gerçek zamanlı olarak deniz suyuna maruz bırakılmış ve belirlenen zamanlara göre sertlik ve çekme testleri uygulanmıştır. Bu doğrultuda elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda sunulmuştur:

- Halka çekme deneylerinde CNT takviyesinin yapılmasıyla elyaflar arasında mekanik bir bağlanma oluşturması ve elyaf matriks arayüzeyini kuvvetlendirmesinin sonucunda boru eksenine dik doğrultudaki mukavemet artmaktadır. Kuru ortam şartlarında CTP halka çekme numunelerinde 763 MPa değer bulunurken, %1 oranında CNT takviyeli numunelerde 923 MPa değer elde edilerek yaklaşık olarak %21'lik bir artış sağlanmıştır.
- Su emme zamanı sonucu, her iki tür numunenin de gerilme değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Bu durum, numunelerin elastikliklerindeki artış, rijitliklerindeki azalmanın bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır.
- Deniz suyunda bekleme zamanının 6 ay olması, çekme karakteristiği açısından CNT'li numuneler dikkate alındığında kritik zaman değeridir. Bu zaman süresi, takviyesiz numunelere bakıldığında 2-4 ay arasına düşmektedir. 9 ay süresince bekleme sonucu gerilme değerleri %50'den fazla gerçekleşmiştir.
- Belirlenen kritik kullanılabilirlik süresine göre gerilme değerleri, CNT takviyesi yapılarak yaklaşık olarak %16 civarında artırılmıştır.
- Her iki tür malzemede de zamana göre sertlik değerlerinde düşüş meydana gelmektedir. Fakat CNT takviyeli numunelerin, rijitliklerini daha uzun süre koruyabildiği görülmektedir. Bu da CNT'lerin tabakalar arası mekanik kilitleme yapması sonucu, delaminasyon hasarını azaltması ve geciktirmesi ile açıklanmıştır. Delaminasyon hasarındaki dikkate değer artış, takviyesiz numunelerde ilk ay sonunda yaşanırken; takviyeli hibrit numunelerde 4 ay sonra gerçekleşmiştir.
- Yapılan çıkarımlara göre epoksi-CNT nanokompozitleri, hem kuru ortam şartlarındaki

hem de çeşitli sürelerde deniz suyu etkisine maruz bırakılma şartlarındaki numuneler üzerinde, sertlik ve çekme gerilmesi açısından olumlu etki sağlayarak; mükemmel mekanik özellikler ve ömür göstererek kullanılabilirliğini ciddi miktarda geliştirmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 14401109 numaralı proje ile desteklenmiştir. Ayrıca yazarlar makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür etmektedir.

Kaynaklar

- Alpaslan, E., Hacıfendioğlu, K., Birinci, F. ve Kurt, M. (2015). Tarihi yapılarada lokal güçlendirmeye bağlı lokal rijitlik artışının yapı davranışına etkisi. 2015 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (3. TDMSK) İzmir.
- Assatse, Y. T., Ejuh, G., Tchoffo, F. and Ndjaka, J. (2019). DFT studies of nanomaterials designed by the functionalization of modified carboxylated carbon nanotubes with biguanide derivatives for nanomedical, nonlinear and electronic applications. *Chinese Journal of Physics*, 58, 253-262. <https://doi.org/10.1016/j.cjph.2019.01.014>
- Bajpai, V. K., Kamle, M., Shukla, S., Mahato, D. K., Chandra, P., Hwang, S. K. and Han, Y.K. (2018). Prospects of using nanotechnology for food preservation, safety, and security. *Journal of food and drug analysis*, 26(4), 1201-1214. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.06.011>
- Bellucci, D., Salvatori, R., Anesi, A., Chiarini, L. and Cannillo, V. (2019). SBF assays, direct and indirect cell culture tests to evaluate the biological performance of bioglasses and bioglass-based composites: Three paradigmatic cases. *Materials Science and Engineering: C*, 96, 757-764. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.12.006>
- Bousfield, G., Morin, S., Jacquet, N. and Richel, A. (2018). Extraction and refinement of agricultural plant fibers for composites manufacturing. *Comptes Rendus Chimie*, 21(9), 897-906. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2018.07.001>
- Chen, X., Tao, J., Yi, J., Liu, Y., Bao, R., Li, C. and You, X. (2018). Enhancing the strength of carbon nanotubes reinforced copper matrix composites by optimizing the interface structure and dispersion uniformity. *Diamond and Related Materials*, 88, 74-84. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2018.06.026>

- Clyne, T. W. and Hull, D. (2019). An introduction to composite materials. Cambridge university press.
- Davies, P., Riou, L., Mazeas, F., and Warnier, P. (2005). Thermoplastic composite cylinders for underwater applications. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 18(5), 417-443. <https://doi.org/10.1177/0892705705054397>
- Deniz, M. E., Ozdemir, O., Ozen, M. and Karakuzu, R. (2013). Failure pressure and impact response of glass-epoxy pipes exposed to seawater. *Composites Part B: Engineering*, 53, 355-361. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.05.047>
- Doğanay, S. ve Ulçay, Y. (2007). Farklı oranlarda takviye edilmiş cam lifi polyester kompozitlerin deniz suyu etkisi altında yorulma davranışının incelenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 12(2).
- Gemi, L. (2018). Investigation of the effect of stacking sequence on low velocity impact response and damage formation in hybrid composite pipes under internal pressure. A comparative study. *Composites Part B: Engineering*, 153, 217-232. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.07.056>
- Ghasemi, H., Brighenti, R., Zhuang, X., Muthu, J. and Rabczuk, T. (2014). Optimization of fiber distribution in fiber reinforced composite by using NURBS functions. *Computational Materials Science*, 83, 463-473. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2013.11.032>
- Grishchuk, S. and Schledjewski, R. (2013). Mechanical dispersion methods for carbon nanotubes in aerospace composite matrix systems. In *Carbon Nanotube Enhanced Aerospace Composite Materials* (pp. 99-154): Springer.
- Grujicic, M., Bell, W., Thompson, L., Koudela, K. and Cheeseman, B. (2008). Ballistic-protection performance of carbon-nanotube-doped poly-vinyl-ester-epoxy matrix composite armor reinforced with E-glass fiber mats. *Materials Science and Engineering: A*, 479(1-2), 10-22. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.06.013>
- Gu, B.-E., Huang, C.-Y., Shen, T.-H. and Lee, Y.L. (2018). Effects of multiwall carbon nanotube addition on the corrosion resistance and underwater acoustic absorption properties of polyurethane coatings. *Progress in Organic Coatings*, 121, 226-235. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.04.033>
- Hassan, E. A., Ge, D., Zhu, S., Yang, L., Zhou, J. and Yu, M. (2019). Enhancing CF/PEEK composites by CF decoration with polyimide and loosely-packed CNT arrays. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 127, 105613. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.105613>
- Irshidat, M. R., Al-Saleh, M. H. and Almashagbeh, H. (2016). Effect of carbon nanotubes on strengthening of RC beams retrofitted with carbon fiber/epoxy composites. *Materials & Design*, 89, 225-234. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.09.166>
- Jesthi, D. K. and Nayak, R. K. (2019). Evaluation of mechanical properties and morphology of seawater aged carbon and glass fiber reinforced polymer hybrid composites. *Composites Part B: Engineering*, 174, 106980. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106980>
- Jin, K., Wang, H., Tao, J. and Zhang, X. (2019). Interface strengthening mechanisms of Ti/CFRP fiber metal laminate after adding MWCNTs to resin matrix. *Composites Part B: Engineering*, 171, 254-263. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.05.005>
- Kara, M., Kirici, M. and Cagan, S. C. (2019). Effects of the number of fatigue cycles on the hoop tensile strength of glass Fiber/epoxy composite pipes. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 19(4), 1181-1186. <https://doi.org/10.1007/s11668-019-00720-z>
- Kaynan, O., Atescan, Y., Ozden-Yenigun, E. and Cebeci, H. (2018). Mixed Mode delamination in carbon nanotube/nanofiber interlayered composites. *Composites Part B: Engineering*, 154, 186-194. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.07.032>
- Kim, M. T., Rhee, K. Y., Jung, I., Park, S. J. and Hui, D. (2014). Influence of seawater absorption on the vibration damping characteristics and fracture behaviors of basalt/CNT/epoxy multiscale composites. *Composites Part B: Engineering*, 63, 61-66. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.03.010>
- Lee, M., Lee, J., Kim, J. and Lee, G. (2014). Properties of B4C-PbO-Al (OH)3-epoxy nanocomposite prepared by ultrasonic dispersion approach for high temperature neutron shields. *Journal of Nuclear Materials*, 445(1-3), 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2013.10.051>
- Liu, X., Li, C., Yi, J., Prashanth, K., Chawake, N., Tao, J. and Eckert, J. (2018). Enhancing the interface bonding in carbon nanotubes reinforced Al matrix composites by the in situ formation of TiAl3 and TiC. *Journal of Alloys and*

- Compounds, 765, 98-105.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.06.170>
- Makowiec, M. E. and Blanchet, T. A. (2017). Improved wear resistance of nanotube-and other carbon-filled PTFE composites. *Wear*, 374, 77-85.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.12.027>
- Matveeva, A. Y., Lomov, S. V. and Gorbatikh, L. (2019). Debonding at the fiber/matrix interface in carbon nanotube reinforced composites: Modelling investigation. *Computational Materials Science*, 159, 412-419.
<https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2018.10.031>
- Mittal, G., Dhand, V., Rhee, K. Y., Park, S. J., Kim, H.-J. and Jung, D. H. (2015). Investigation of seawater effects on the mechanical properties of untreated and treated MMT-based glass fiber/vinylester composites. *Ocean Engineering*, 108, 393-401.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.08.019>
- Mousavi, M. V. and Khoramishad, H. (2019). The effect of hybridization on high-velocity impact response of carbon fiber-reinforced polymer composites using finite element modeling, Taguchi method and artificial neural network. *Aerospace Science and Technology*, 94, 105393.
<https://doi.org/10.1016/j.ast.2019.105393>
- Nayak, R. K. (2019). Influence of seawater aging on mechanical properties of nano-Al₂O₃ embedded glass fiber reinforced polymer nanocomposites. *Construction and Building Materials*, 221, 12-19.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.043>
- Ng, K.-W., Lam, W.-H. and Pichiah, S. (2013). A review on potential applications of carbon nanotubes in marine current turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 331-339.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.018>
- Öndürücü, A. ve Muzoğlu, M. (2019). Doğal Lif Takviyeli Kompozitlerin Burkulma Davranışına Deniz Suyunun Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(1), 30-39.
- Prabhu, T. R. (2015). Effects of solid lubricants, load, and sliding speed on the tribological behavior of silica reinforced composites using design of experiments. *Materials & Design*, 77, 149-160.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.03.059>
- Rahmanian, S., Thean, K., Suraya, A., Shazed, M., Salleh, M. M. and Yusoff, H. (2013). Carbon and glass hierarchical fibers: influence of carbon nanotubes on tensile, flexural and impact properties of short fiber reinforced composites. *Materials & Design*, 43, 10-16.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.06.025>
- Tang, X., Lui, Y. H., Chen, B. and Hu, S. (2017). Functionalized carbon nanotube based hybrid electrochemical capacitors using neutral bromide redox-active electrolyte for enhancing energy density. *Journal of Power Sources*, 352, 118-126.
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.03.094>
- Taşyürek, M. (2014). Yüzey çatlaklı ve çatlaksız $\pm 55^\circ$ filaman sarım cnt takviyeli ctp kompozit boruların mekanik özelliklerinin ve iç basınç etkisi altındaki yorulma davranışının araştırılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Taşyürek, M. and Tarakçioğlu, N. (2017). Enhanced fatigue behavior under internal pressure of CNT reinforced filament wound cracked pipes. *Composites Part B: Engineering*, 124, 23-30.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.05.050>
- Taşyürek, M. and Tarakçioğlu, N. (2017). Enhancing fatigue life of filament winding laminar and curved pipes containing carbon nanotubes, and their fatigue failure. *Polymers and Polymer Composites*, 25(2), 167-176.
<https://doi.org/10.1177/096739111702500207>
- Tsotsis, T. K., Keller, S., Lee, K., Bardis, J. and Bish, J. (2001). Aging of polymeric composite specimens for 5000 hours at elevated pressure and temperature. *Composites Science and Technology*, 61(1), 75-86.
[https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(00\)00196-2](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(00)00196-2)
- Xiao, C., Tan, Y., Wang, X., Gao, L., Wang, L. and Qi, Z. (2018). Study on interfacial and mechanical improvement of carbon fiber/epoxy composites by depositing multi-walled carbon nanotubes on fibers. *Chemical Physics Letters*, 703, 8-16.
<https://doi.org/10.1016/j.cplett.2018.05.012>
- Zhang, L., Wu, H., Zheng, Z., He, H., Wei, M. and Huang, X. (2019). Fabrication of graphene oxide/multi-walled carbon nanotube/urushiol formaldehyde polymer composite coatings and evaluation of their physico-mechanical properties and corrosion resistance. *Progress in Organic Coatings*, 127, 131-139.
<https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.10.026>

Synthesis and structural characterization of novel pyrazoline derivatives

Yeni pirazolin türevlerinin sentezi ve yapı karakterizasyonu

Gonca ÇELİK^{*1,a}

¹Karadeniz Technical University, Faculty of Science, Department of Chemistry, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 23.11.2020 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 26.03.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 31.03.2021

Abstract

Pyrazolines, which are nitrogen including five-membered heterocyclic structures, have been used in the organic and pharmaceutical industries. This study aimed was to synthesize and characterizes new series of 3,5-diphenyl-4,5-dihydro-1H-pyrazole derivatives. The new pyrazoline compounds have been synthesized from chalcones and hydrazine hydrate in two steps. In the first step, chalcones were synthesized from 2-amino acetophenone and various substituted benzaldehyde by Claisen-Schmidt condensation at room temperature. In second step, starting from various substituted chalcones derivatives with hydrazine hydrate and glacial acetic acid in anhydrous ethanol were synthesized six novel 3,5-diphenyl-4,5-dihydro-1H-pyrazole derivatives utilizing intramolecular Michael addition reaction in good yields. The structures of the newly synthesized 3,5-diphenyl-4,5-dihydro-1H-pyrazole derivatives are identified via 1H NMR, 13C NMR, FT-IR, and HRMS.

Keywords: Chalcone, Characterization, Pyrazoline, Synthesis

Öz

Heterosiklik moleküllerin azot içeren 5 halkalı üyesi olan pirazolinler organik ve eczacılık endüstrisinde kullanılırlar. Bu çalışmanın amacı, yeni 3,5-difenil-4,5-dihidro-1H-pirazol türevlerini sentezlemek ve karakterize etmektir. Yeni pirazolin türevleri kalkon ve hidrazin hidrattan iki adımda sentezlendi. İlk adımda, 2-amino asetofenon ve çeşitli substitue benzaldehitlerden oda sıcaklığında Claisen-Schmidt kondenzasyonu ile kalkonlar sentezlendi. İkinci adımda, farklı substitue kalkon türevlerinden başlanarak susuz etanol içinde hidrazin hidrat ile birlikte 6 adet yeni 3,5-difenil-4,5-dihidro-1H-pirazol türevleri molekül içi Michael katılması reaksiyonu kullanılarak iyi verimle sentezlendi. Sentezlenen tüm yeni 3,5-difenil-4,5-dihidro-1H-pirazol türevlerinin yapıları 1H NMR, 13C NMR, FT-IR ve HRMS yardımıyla aydınlatıldı.

Anahtar kelimeler: Kalkon, Karakterizasyon, Pirazolin, Sentez

*^a Gonca ÇELİK; mavi_gnc@hotmail.com, Tel: (0537) 430 07 37, orcid.org/0000-0002-4634-3354

1. Giriş

Chalcones are an important functional group for the synthesizing different heterocycles (Karthikeyan et al., 2007). Several chalcone derivatives are of considerable interest in both synthetic organic and medicinal chemistry, act as a precursor for biologically important diverse pharmacological activities (Arslan et al., 2016), such as antiobesity, antioxidant, and anticancer properties (El Sayed Aly et al., 2014).

Pyrazoline is one of the most important five-membered heterocycles, including two nearby nitrogen atoms and an endocyclic double band with the ring (Farooq and Ngaini, 2020). *N*-containing heterocycles such as 2-pyrazoline are essential in medicinal chemistry as a likely scaffold for structural qualification and drug development studies (Patel et al., 2016; Kahriman et al., 2017). Furthermore, 2-pyrazoline is the most popular among the three tautomeric structures of pyrazolines (Lone et al., 2014; Sever et al., 2019). Pyrazolines have been reported to display quality of biological activities as a reactive heterocyclic structure, especially about the anti-tubercular (Ahmad et al., 2016), anti-viral (Yar et al., 2009), anti-bacterial (Solanki et al., 2012), anti-fungal (Hassan, 2013) and anti-cancer (Jainey and Bhat, 2012) activities. Stefans et al. (2019) explored the antileukemic potential against neoplastic cells of

pyrazoline derivatives which have been obtained from various chalcones.

Pyrazoline compounds have also been reported which have different synthetic methods (Farooq and Ngaini, 2020). The most common synthesis route of pyrazolines used α,β -unsaturated carbonyl compounds (chalcones) as starting compounds. To obtain the pyrazolines, the chalcones have been cyclized in organic solvent using different acid and hydrazine hydrate (Patel et al., 2016; Mishra et al., 2017).

Some bioactive pyrazoline derivatives such as 2-(5-(2-Fluorophenyl)-4,5-dihydro-1H-pyrazol-3-yl)phenol (**I**) and 2-[5-(4-chlorophenyl)-4,5-dihydro-1H-pyrazol-3-yl]pyridine (**II**) were synthesized from chalcones (Figure 1). Compound I had been used as carbonic anhydrase inhibitors in some studies previously (Çelik et al., 2020). Previous significant evidence on compound II gives powerful antimicrobial and antioxidant activity (Lone et al., 2014).

In light of the above finding, here in this study, novel 3,5-diphenyl-4,5-dihydro-1H-pyrazole derivatives (Table 1 and Scheme 3) were synthesized from heterocyclic chalcone for the first time and their structures were characterized by spectroscopic techniques (^1H NMR, ^{13}C NMR, FT-IR, and HRMS).

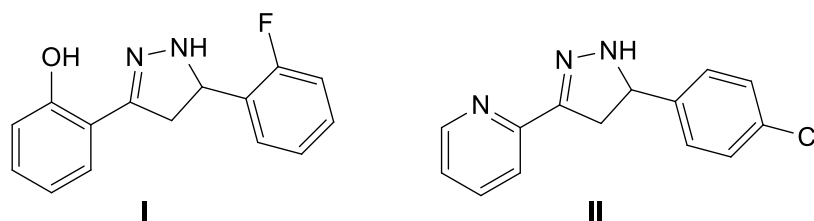


Figure 1. Molecular structure of some bioactive pyrazolines

2. Material and methods

^1H , ^{13}C , and APT NMR spectra were measured on an Agilent NMR (nuclear magnetic resonance, 400 MHz) instrument at 25 °C with tetramethylsilane (TMS) and solvent signals allowed as internal standards. Chemical shifts are exhibited in ppm (δ) scale. The high-resolution accurate masses were carried out with Micromass Quattro LC-MS/MS (liquid chromatography and mass spectroscopy) mass spectrometer. All the Fourier Transform Infra-Red (FTIR) spectra were measured on a Perkin Elmer 1600 spectrophotometer. Melting points were taken on the Thermo-var apparatus

fitted with a microscope in degrees (°C) and reported as uncorrected.

2.1. General methods for the preparation of chalcone derivatives (3a-3f)

The synthesis of starting compounds 3a-3f has been synthesized from the reported procedure. To a solution mixture of equimolar quantities of 2-amino acetophenone (0.01 mole) and substituted aromatic aldehydes (0.01 mole) in ethanol (30 mL), sodium hydroxide solution (5 mL, 40%) was added with continuous stirring at room temperature for 2-3 h. The reaction mixture was monitored by TLC. When at least one of the starting compounds

finished, the reaction content was poured on ice-water and acidified by HCl (10%). The precipitates obtained was filtered, dried, and recrystallized from ethyl alcohol to obtain compounds 4a-4f (Raghav et al., 2016; Michelini et al., 2018).

2.1.1. General methods for the preparation of 3,5-diphenyl-4,5-dihydro-1H-pyrazole derivatives (4a-4f)

Hydrazine hydrate (80% aqueous solution, 5 mmol) was added to a suspension of 3a-3f (5 mmol) in ethanol 50 mL including 0.5 mL of glacial acetic acid. The obtained mixture was then refluxed 24 h, monitored by TLC (Bano et al., 2015; Çelik et al., 2020). After completion of the reaction, the reaction mixture was cooled at room temperature for 1 h. The mixture was then extracted with chloroform from the one-third concentrated solution. The organic sheet was then evaporated to yield the expected crude 3,5-diphenyl-4,5-dihydro-1H-pyrazole (4a-f) derivatives. Residues received were purified by column chromatography to afford pure compound 4a-4f.

3-(2'-Aminophenyl),5-(2'-methoxyphenyl)pyrazoline (4a): Yield: 800 mg. (60%); m.p: 61-63 °C; IR (ATR/FT-IR), ν/cm^{-1} : 3462, 3334 (N-H stretching), 2937, 2835 (aliphatic C-H stretching), 2358, 2331 (NH₂ stretching), 1612, 1600, 1489 (C=C and C=N stretching), 1242, 1026 (C-N and OCH₃ stretching, aromatic C-H in plane bending), 750 (aromatic C-H out of plane bending); for HNMR- 7.4 (d, 1H, $J = 8$ Hz), 7.3 (t, 1H, $J = 8$ Hz), 7.2 (d, $J = 8$ Hz, 1H), 7.1 (t, 1H, $J = 8$ Hz), 6.9 (d, 1H, $J = 7.8$ Hz), 6.9 (m, 1H), 6.7 (m, 2H), 5.1 (dd, 1H, $J = 9.7/9.6$ Hz), 3.9 (s, 3H), 3.55 (dd, 1H, $J = 15.9/10.2$ Hz), 3.05 (dd, 1H, $J = 15.9/9.1$ Hz), for CNMR 156.9, 154.1, 146.7, 130.1, 130.1, 129.2, 128.5, 126.3, 120.7, 115.6, 115.3, 115.3, 110.3, 56.9, 55.4, 40.2; HRMS: MS (ESI, m/z) [M+H]⁺: calcd. For C₁₆H₁₇N₃O: 267.3258; Found: 268.1462.

3-(2'-Aminophenyl),5-(3'-methoxyphenyl)pyrazoline (4b): Yield: 734 mg. (55%); m.p: Oil; IR (ATR/FT-IR), ν/cm^{-1} : 3462, 3327 (N-H stretching), 3005 (aromatic C-H stretching), 2937, 2835 (aliphatic C-H stretching), 2358, 2331 (NH₂ stretching), 1610, 1595, 1471 (C=C and C=N stretching), 1257, 1157, 1041 (C-N and OCH₃ stretching, aromatic C-H in plane bending), 746 (aromatic C-H out of plane bending); for HNMR-7.3 (m, 2H), 7.2 (m, 2H), $\delta = 7.0$ (m, H), 6.9 (dd, 1H, $J = 4.0/4.0$), 6.7 (m, 2H), 4.8 (dd, 1H, $J = 10.4/9.0$ Hz), 3.9 (s, 3H), 3.55 (dd, 1H, $J =$

16.1/10.5 Hz), 3.15 (dd, 1H, $J = 16.1/8.9$ Hz), for CNMR 159.9, 153.7, 146.7, 144.4, 129.9, 129.4, 128.9, 118.7, 116.4, 115.7, 114.9, 113.1, 111.9, 62.7, 55.3, 42.8; HRMS: MS (ESI, m/z) [M+H]⁺: calcd. For C₁₆H₁₇N₃O: 267.3258; Found: 268.1452.

3-(2'-Aminophenyl),5-(4'-methoxyphenyl)pyrazoline (4c): Yield: 600 mg. (45%); m.p: Oil; IR (ATR/FT-IR), ν/cm^{-1} : 3462, 3336 (N-H stretching), 3005 (aromatic C-H stretching), 2935, 2835 (aliphatic C-H stretching), 2358, 2322 (NH₂ stretching), 1610, 1450 (C=C and C=N stretching), 1246, 1174, 1029 (C-N and OCH₃ stretching, aromatic C-H in plane bending), 746 (aromatic C-H out of plane bending); for HNMR- 7.4 (d, 1H, $J = 8.6$ Hz), 7.3 (t, 1H, $J = 8.6$ Hz), 7.2 (t, 1H, $J = 7.6$ Hz), 7.2 (d, 1H, $J = 7.7$ Hz), 7.2 (d, 1H, $J = 6.7$ Hz), 6.9 (d, 1H, $J = 8.6$ Hz), 6.7 (d, 1H, $J = 7.4$ Hz), 6.7 (d, 1H, $J = 7.5$ Hz), 4.8 (dd, 1H, $J = 10.3/8.5$ Hz), 3.9 (s, 3H), 3.75 (dd, 1H, $J = 7.9/5.8$ Hz), 3.15 (dd, 1H, $J = 16.1/8.4$ Hz), for CNMR 159.1, 153.9, 146.2, 134.9, 130.0, 129.4, 127.6, 127.6, 116.4, 115.7, 114.1, 114.1, 113.9, 62.2, 55.4, 42.7; HRMS: MS (ESI, m/z) [M+H]⁺: calcd. For C₁₆H₁₇N₃O: 267.3258; Found: 268.1441.

3-(2'-Aminophenyl),5-(2'-nitrophenyl)pyrazoline (4d): Yield: 705 mg. (50%); m.p: 88-90 °C; IR (ATR/FT-IR), ν/cm^{-1} : 3462, 3336 (N-H stretching), 2933, 2843 (aliphatic C-H stretching), 2358, 2341 (NH₂ stretching), 1614, 1521, 1465, 1348 (C=C, C=N and NO₂ stretching), 1246, 1161, 1031 (C-N and aromatic C-H in plane bending), 750 (aromatic C-H out of plane bending); for HNMR-8.5 (dd, 1H, $J = 8.1/7.9$ Hz), 8.05 (dd, 1H, $J = 18.0/9.3$ Hz), 7.9 (t, 1H, $J = 8.0$ Hz), 7.8 (m, 1H), 6.7 (m, 1H), 7.4 (t, 1H, $J = 7.4$ Hz), 7.4 (t, 1H, $J = 7.3$ Hz), 7.2 (m, 1H), 6.0 (brs, 3H), 5.3 (t, 1H, $J = 10.0$ Hz), 3.85 (dd, 1H, $J = 16.4/10.7$ Hz), 3.15 (dd, 1H, $J = 16.4/9.6$ Hz), for CNMR 153.6, 146.6, 138.0, 134.3, 133.8, 129.7, 128.9, 127.2, 124.6, 118.8, 116.9, 116.5, 115.7, 58.2, 42.8; HRMS: MS (ESI, m/z) [M+H]⁺: calcd. For C₁₅H₁₄N₄O₂: 282.2974; Found: 283.1152.

3-(2'-Aminophenyl),5-(3'-nitrophenyl)pyrazoline (4e): Yield: 775 mg. (55%); m.p: 165-167 °C; IR (ATR/FT-IR), ν/cm^{-1} : 3460, 3327 (N-H stretching), 2358, 2330 (NH₂ stretching), 1612, 1523, 1508, 1452, 1346 (C=C, C=N and NO₂ stretching), 1161, 1083 (C-N and aromatic C-H in plane bending), 752 (aromatic C-H out of plane bending); for HNMR-8.3 (s, 1H), 8.2 (d, 1H, $J = 7.8$ Hz), 7.8 (d, 1H, $J = 7.3$ Hz), 7.5

(t, 1H, $J = 7.8$ Hz), 7.2 (m, 2H), $\delta = 6.7$ (m, 1H), 6.0 (brs, 3H), 5.0 (t, 1H, $J = 10.1$ Hz), 3.65 (dd, 1H, $J = 16.0/10.8$ Hz), 3.05 (dd, 1H, $J = 16.0/10.0$ Hz), for CNMR 153.5, 148.4, 146.7, 144.8, 132.7, 129.9, 129.7, 128.8, 122.7, 121.8, 115.7, 115.7, 114.3, 62.1, 43.2; HRMS: MS(ESI, m/z) $[M+H]^+$: calcd. For C₁₅H₁₄N₄O₂: 282.2974; Found: 283.1222.

3-(2'-Aminophenyl),5-(4'-

nitrophenyl)pyrazoline (4f): Yield: 564 mg. (40%); m.p: 93-95 °C; IR (ATR/FT-IR), ν/cm^{-1} : 3462, 3327 (N-H stretching), 2927, 2854 (aliphatic C-H stretching), 2360 (NH₂ stretching), 1612, 1516, 1452, 1344, 1215 (C=C, C=N and NO₂ stretching), 1161, 1014 (C-N and aromatic C-H in plane bending), 750 (aromatic C-H out of plane bending); for HNMR-8.2 (d, 2H, $J = 7.2$ Hz), $\delta = 7.6$ (d, 2H, $J = 7.2$ Hz), 7.3 (s, 1H), $\delta = 7.2$ (m, 2H), 6.7 (m, 1H), 6.0 (brs, 3H), 4.9 (t, 1H, $J = 9.0$ Hz), 3.65 (dd, 1H, $J = 16.0/8.6$ Hz), 3.05 (dd, 1H, $J = 15.6/9.6$ Hz), for CNMR 150.1, 146.7, 129.8, 128.9, 127.5, 127.0, 127.5, 126.1, 124.1, 124.1, 122.9, 116.4, 115.8, 62.2, 43.2; HRMS: MS (ESI,

m/z) $[M+H]^+$: calcd. For C₁₅H₁₄N₄O₂: 282.2974; Found: 283.1204.

3. Results and discussion

The general synthesis route of chalcones (3a-3f) and 3,5-diphenyl-4,5-dihydro-1H-pyrazole derivatives (4a-4f) are given in Table 1 and Figure 2. Firstly, the chalcones were synthesized by Claisen-Schmidt condensation among the aromatic aldehydes and the substituted acetophenone utilizing reported methods in the literature (Abdel-Halim et al., 2020; Çelik, 2020). Secondly, for compounds 4a-4f, chalcones have been converted into pyrazoline molecules by intramolecular Michael addition with hydrazine hydrate in refluxing ethanol and acetic acid as a catalyst (Table 1 and Figure 2) (Li et al., 2017; Çelik et al., 2020; Dofe et al., 2020; Farooq and Ngaini, 2020). Finally, six novel pyrazolines were synthesized with high yield for the first time in this work. All the synthesized compounds gave satisfactory spectroscopic data (¹H NMR, ¹³C NMR, FT-IR, and HRMS), which were in the whole accordance with their described structures.

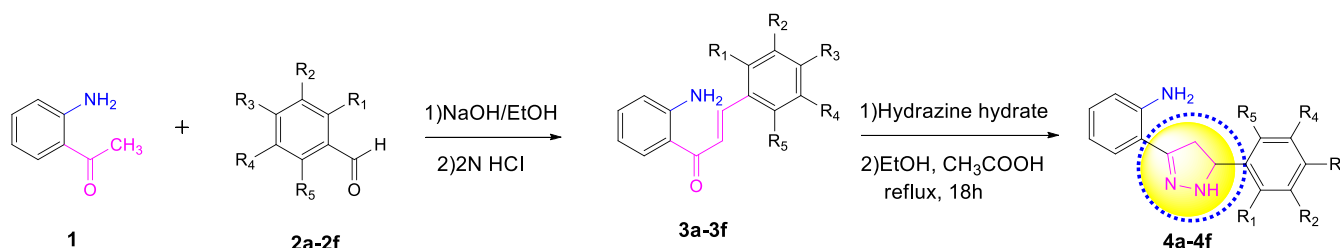


Figure 2. The general route for the preparation of 3,5-diphenyl-4,5-dihydro-1H-pyrazole derivatives (4a-4f)

Table 1. 3,5-diphenyl-4,5-dihydro-1H-pyrazole derivatives (4a-4f)

Compounds	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
4a	OCH ₃	H	H	H	H
4b	H	OCH ₃	H	H	H
4c	H	H	OCH ₃	H	H
4d	NO ₂	H	H	H	H
4e	H	NO ₂	H	H	H
4f	H	H	NO ₂	H	H

In the ¹H NMR spectra of the 3,5-diphenyl-4,5-dihydro-1H-pyrazole derivatives (4a-4f), the three hydrogen atoms connected to the C-4 and C-5 carbon atoms of the heterocyclic ring provided an ABX spin system (Figure 3). This form an ABX spin system of a set of three doublets of doublets peaks was seen, which appeared due to *geminal-vicinal* coupling with the non-equivalent protons of the methylene group H_a and H_b at the C-4 and methine proton H_x at C-5 of the pyrazole ring

(Çelik et al., 2020; Delgado et al., 2020). In these compounds (4a-4f) H_A appeared as a doublet of doublets ($J_{AB} = 15.6-16.4$ Hz, $J_{AX} = 8.4-10.0$ Hz) at 3.0-3.2 ppm. The H_B protons were recognized as a doublet of doublets at 3.5-3.9 ppm ($J_{BA} = 7.9-16.4$ Hz, $J_{BX} = 5.8-10.8$ Hz), whereas the H_X protons resonated as a doublet of doublets ($J_{AX} = 8.5-9.6$ Hz, $J_{BX} = 9.3-10.4$ Hz) or triplet ($J = 9.0-10.1$ Hz) at 4.8-5.3 ppm. Sun et al. (2013) reported, the characteristic methylene protons related to the AB

system of the pyrazoline ring were observed at 1.72-2.60 ppm ($J= 13.6$ Hz). The protons of the methoxy group appeared as a singlet at 3.9 ppm. Other aromatic protons were located in the predicted regions. Besides, the -NH- and -NH₂ groups of pyrazoline assigned to a signal as broad at 5.9-6.2 ppm. According to the previous reports, the formation of pyrazoline scaffold in the final compounds was confirmed, in which N-H protons determined at 7.89 ppm by broad singlet (Sever et al., 2020). The ¹³C NMR spectra were further supported all structures which gave the chemical shift values of carbon atoms of pyrazoline ring C-3 at 150.1-153.9 ppm, C-4 at 40.2-43.2 ppm, and C-5 at 56.9-62.7 ppm. Similarly, previous studies reported that pyrazoline scaffold carbons of the C-3, C-4, and C-5 were exhibited 152.38-153.65 ppm, 42.62-43.73 ppm, and 63.68-63.93 ppm (Sever et al., 2020; Rana et al., 2021). In the proton-decoupled ¹³C NMR, the methoxy group between 55.3-55.4 ppm and aromatic carbons recorded the signal in the region δ 111.9-156.9 ppm. Other aromatic carbons were detected in expected regions. The IR spectra of 4a-4f exhibited for N-H a broad stretching was observed a common at 3327-3462 cm⁻¹ which absorption band. The stretching band for C-N and C-C groups showed in the regions 1489-1614 cm⁻¹. Besides, absorption bands for a functional group like -NO₂ were also observed at 1516-1523 cm⁻¹ and 1344-1348 cm⁻¹. Besides, the high-resolution mass spectrometry (HRMS) spectra of compounds 4a-4f confirmed the molecular weight of all compounds with their molecular formulas.

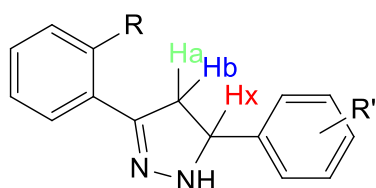


Figure 3. ABX system of pyrazoline ring

4. Conclusion

In the present study, six novel 3,5-diphenyl-4,5-dihydro-1H-pyrazole derivatives were synthesized from cyclization of substituted chalcones by intramolecular Michael addition, and chemical structures have been identified by ¹H NMR, ¹³C NMR, FT-IR, and HRMS techniques. Furthermore, the reported derivatives bearing 3,5-diphenyl-4,5-dihydro-1H-pyrazole derivatives are biologically privileged scaffolds. The compounds can be considered for the development of novel bioactive molecules.

Acknowledgements

This study was financially supported by the Scientific Research Foundation of the Karadeniz Technical University, Turkey (KTU-BAP, project no: 9699).

References

- Abdel-Halim, M., Tinsley, H., Keeton, A. B., Weam, M., Atta, N. H., Hammam, M. A., Hefnawy, A., Hartmann, R. W., Engel, M., Piazza, G. A. and Abadi, A. H. (2020). Discovery of trisubstituted pyrazolines as a novel scaffold for the development of selective phosphodiesterase 5 inhibitors. *Bioorganic Chemistry*, 104, 104322, <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2020.104322>.
- Ahmad, A., Husain, A., Khan, S. A., Mujeeb, M. and Bhandari, A. (2016). Synthesis, antimicrobial and antitubercular activities of some novel pyrazoline derivatives. *Journal of Saudi Chemical Society*, 20(5), 577-584, <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2014.12.004>.
- Arslan, T., Çelik, G., Çelik, H., Şentürk, M., Yaylı, N. and Ekinci, D. (2016). Synthesis and biological evaluation of novel bischalcone derivatives as carbonic anhydrase inhibitors. *Archiv der Pharmazie*, 349(9), 741-748, <https://doi.org/10.1002/ardp.201600122>.
- Bano, S., Alam, M. S., Javed, K., Dudeja, M., Das, A. K. and Dhulap, A. (2015). Synthesis, biological evaluation and molecular docking of some substituted pyrazolines and isoxazolines as potential antimicrobial agents. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 95, 96-103, <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.03.031>.
- Çelik, G., Arslan, T., Şentürk, M. and Ekinci, D. (2020). Synthesis and characterization of some new pyrazolines and their inhibitory potencies against carbonic anhydrases. *Archiv der Pharmazie*, 353(3), 1900292, <https://doi.org/10.1002/ardp.201900292>.
- Çelik, G. (2020). New chalcone-3-O-glycoside derivatives: Synthesis and characterization. *Journal of Chemical Research*, 44(9-10), 598-601, <https://doi.org/10.1177/1747519820915165>.
- Delgado, G. E., Liew, S. M., Jamalis, J., Cisterna, J., Cardenas, A. and Brito, I. (2020). Structural characterization and Hirshfeld surface analysis of the pyrazoline 1-(3-(4-iodophenyl)-5-(3-methylthiophen-2-yl)-4,5-dihydro-1H-pyrazol-1-yl) ethan-1-one. *Journal of Molecular Structure*, <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.128044>.

- Dofe, V. S., Sarkate, A. P., Tiwari, S. V., Lokwani, D. K., Karnik, K. S., Kale, I. A., Dodamani, S., Jalalpure, S. S. and Burra, P. V. L. S. (2020). Ultrasound assisted synthesis of tetrazole based pyrazolines and isoxazolines as potent anticancer agents via inhibition of tubulin polymerization. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 30(22), 127592, <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2020.127592>.
- El Sayed Aly, M. R., El Razeq Fodah, H. H. A. and Saleh, S. Y. (2014). Antiobesity, antioxidant and cytotoxicity activities of newly synthesized chalcone derivatives and their metal complexes. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 76, 517-530, <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2014.02.021>.
- Farooq, S. and Ngaini, Z. (2020). One-pot and two-pot synthesis of chalcone based mono and bis-pyrazolines. *Tetrahedron Letters*, 61(4), 151416, <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2019.151416>.
- Hassan, S. Y. (2013). Synthesis, antibacterial and antifungal activity of some new pyrazoline and pyrazole derivatives. *Molecules*, 18(3), 2683-2711, <https://doi.org/10.3390/molecules18032683>.
- Jaimey, P. J. and Bhat, I. K. (2012). Antitumor, analgesic, and anti-inflammatory activities of synthesized pyrazolines. *Journal of Young Pharmacists*, 4(2), 82-87, <https://doi.org/10.4103/0975-1483.96621>.
- Kahriman, N., Haşimoğlu, Z., Serdaroğlu, V., Beriş, F. Ş., Barut B. and Yaylı, N. (2017). Synthesis of Novel Pyrazolines, Their Boron-Fluorine Complexes, and Investigation of Antibacterial, Antioxidant, and Enzyme Inhibition Activities. *Archiv der Pharmazie*, 350(2), e1600285, <https://doi.org/10.1002/ardp.201600285>.
- Karthikeyan, M. S., Holla, B. S. and Kumari, N. S. (2007). Synthesis and antimicrobial studies on novel chloro-fluorine containing hydroxy pyrazolines. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 42(1), 30-36, <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2006.07.011>.
- Li, Y., Wan, J. P. and Wen, C. (2017). Water-acetic acid mediated chemoselective synthesis of pyrazolines via multimolecular domino reactions of enamines and sulfonyl hydrazines. *Tetrahedron*, 73(16), 2323-2328, <https://doi.org/10.1016/j.tet.2017.03.019>.
- Lone, I. H., Khan, K. Z. and Fozdar, B. I. (2014). Synthesis, physicochemical properties, antimicrobial and antioxidant studies of pyrazoline derivatives bearing a pyridyl moiety. *Medicinal Chemistry Research*, 23(1), 363-369, <https://doi.org/10.1007/s00044-013-0643-z>.
- Michelini, L. J., Castro, M. R. C., Custodio, J. M. F., Naves, L. F. N., Vaz, W. F., Lobon, G. S., Martins, F. T., Perez, C. N. and Napolitano, H. B. (2018). A novel potential anticancer chalcone: Synthesis, crystal structure and cytotoxic assay. *Journal of Molecular Structure*, 1168, 309-315, <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2018.05.010>.
- Mishra, V. K., Mishra, M., Kashaw, V. and Kashaw, S. K. (2017). Synthesis of 1,3,5-trisubstituted pyrazolines as antimalarial and antimicrobial agents. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 25(6), 1949-1962, <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2017.02.025>.
- Patel, N. B., Shaikh, F. M., Patel, H. R. and Rajani, D. (2016). Synthesis of 2-pyrazoline from pyridine based chalcone by conventional and microwave techniques: Their comparison and antimicrobial studies. *Journal of Saudi Chemical Society*, 20, 451-S456, <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2013.01.008>.
- Raghav, N., Garg, S. and Ravish, I. (2016). Conversion of 2'-substituted chalcones in the presence of BSA as evidenced by ¹H NMR studies. *International Journal of Biological Macromolecules*, 85, 23-28, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.12.060>.
- Rana, M., Arif, R., Khan, F. I., Maurya, V., Singh, R., Faizan, M. I., Yasmeen, S., Dar, S. H., Alam, R., Sahu, A. and Ahmad, T. (2021). Pyrazoline analogs as potential anticancer agents and their apoptosis, molecular docking, MD simulation, DNA binding and antioxidant studies. *Bioorganic Chemistry*, 108, 104665, <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2021.104665>.
- Sever, B., Altıntop, M. D., Radwan, M. O., Özdemir, A., Otsuka, M., Fujita, M. and Ciftci, H. I. (2019). Design, synthesis and biological evaluation of a new series of thiazolyl-pyrazolines as dual EGFR and HER2 inhibitors. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 182, 111648, <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2019.111648>.
- Sever, B., Türkeş, C., Altıntop, M. D., Demir, Y. and Beydemir, Ş. (2020). Thiazolyl-pyrazoline derivatives: In vitro and in silico evaluation as potential acetylcholinesterase and carbonic anhydrase inhibitors. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 1970-1988, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.043>.
- Solanki, N. S., Yaduvanshi, K. S., Jain, V., Mishra, A. and Marothia, D. (2012). Synthesis of antimicrobial activities of di (substituted phenyl)-2 pyrazoline derivatives. *International Journal of PharmTech Research*, 4(4), 1464-1470.

- Stefans, N. M., Toigo, J., Maioral, M. F., Jacques, A. V., Chiaradia-Delatorre, L. D., Perondi, D. M., Ribeiro, A. A. B., Bigolin, A., Pirath, I. M. S., Duarte, B. F., Nunes, R. J. and Santos-Silva, M. C. (2019). Synthesis of novel pyrazoline derivatives and the evaluation of death mechanisms involved in their antileukemic activity. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 27(2), 375-382, <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2018.12.012>.
- Sun, H., Wang, X., Zhan, M., Liu, J. and Xie, Y. (2013). Facile synthesis of novel tetrasubstituted 1-pyrazolines from Baylis-Hillman adducts and acyl diazomethanes. *Tetrahedron Letters*, 54(29), 3846-3850, <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2013.05.041>.
- Yar, M. S., Bakht, M. A., Siddiqui, A. A., Abdullah, M. M. and Clercq, E. D. (2009). Synthesis and evaluation of in vitro antiviral activity of novel phenoxy acetic acid derivatives. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 24, 876-882, <https://doi.org/10.1080/14756360802447917>.

Cu ve Fe Metalleri için tiyadiazol türevi bileşiklerin kuantum kimyasal hesaplamaları ve korozyon inhibisyon aktiviteleri

Quantum chemical calculations and corrosion inhibition activities of thiadiazole derivative compounds for Cu and Fe metals

Tuncay KARAKURT*^{1,a}

¹Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya ve Proses Mühendisliği, Kırşehir

• Geliş tarihi / Received: 22.01.2021 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 25.03.2021 • Kabul tarihi / Accepted: 31.03.2021

Öz

Bu çalışmada, Tiyadiazol türevi bileşiklerin (L1, L2, L3 ve L4) Cu ve Fe metal atomları üzerindeki korozyon inhibisyonu etkisini araştırmak için teoriksel hesaplama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Tüm bileşiklerin moleküler modellemeleri, Gaussian 09 programı ile Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi DFT/B3LYP ve 6-311G (d) baz seti kullanılmıştır. İnhibitör adayları olan bileşiklerin inhibisyon etkinliği, Fe ve Cu metalleri için; L3>L1>L4>L2 sırası gözlemlendi. Tiyadiazol türevi bileşiklerin inhibe edici etkisinin, bu bileşiklerde bulunan fonksiyonel grupların elektronik doğasına bağlı olduğu görülmüştür. Tüm bileşiklerin kuantum kimyasal parametreleri olan; HOMO ve LUMO yörünge enerjileri, bazı kuantum kimyasal parametreleri; elektron afinitesi (EA), iyonizasyon potansiyeli (IP), elektronegatiflik (χ), mutlak sertlik (η), mutlak yumuşaklık (S) ve kimyasal potansiyel (μ) değerleri hesaplandı. Bu parametreler kullanılarak, tüm bileşiklerin inhibitörden metale olan yük transferini ifade eden elektron transferlerinin kesri (ΔN) hesaplanmıştır. Son olarak bileşiklerin hesaplanan korozyonu önleme etkileri birbirleriyle karşılaştırıldı.

Anahtar kelimeler: Elektron transfer kesri, Gaussian 09, HOMO-LUMO, Korozyon inhibisyon etkisi, Yoğunluk fonksiyonel teorisi

Abstract

In this study, theoretical computational studies were carried out to investigate the corrosion inhibition effect of Thiadiazole derivative compounds on Cu and Fe metal atoms. Molecular modeling of all compounds was used with Gaussian 09 program, DFT/B3LYP theorem and 6-311G (d) base set. Inhibition activities of the compounds which are inhibitor candidate for Fe and Cu metals were observed in the order L3> L1> L4> L2. It has been found that the inhibitory effect of the Thiadiazole derivative compounds depends on the electronic nature of the functional groups present in these compounds. Quantum chemical parameters of all compounds; HOMO and LUMO orbital energies, some quantum chemical parameters; electron affinity (EA), ionization potential (IP), electronegativity (χ), global hardness (η), global softness (S) and chemical potential (μ) values were calculated. Using these parameters, the electron transfers fraction (ΔN) of all compounds expressing the charge transfer from the inhibitor to the metal was calculated. Finally, the calculated anti-corrosion effects of the compounds were compared with each other.

Keywords: Electron transfer fraction, Gaussian 09, HOMO-LUMO, Corrosion inhibition effect, Density functional theory

*a Tuncay KARAKURT; tuncaykarakurt@gmail.com, Tel: (0386) 280 60 62, orcid.org/0000-0001-6944-9883

1. Giriş

İnhibitörler, metallerin çözünme hızını azaltmak için çok etkilidir. Azot, kükürt ve oksijen içeren bileşikler inhibitör olarak rapor edilmiştir (Shukla ve Quraishi 2009; Singh vd., 2011; Athar vd., 2002; Quraishi ve Ansari, 2003; Quraishi ve Khan, 2006; Quraishi vd., 2008). Organik inhibitörler genellikle metal yüzeyinde bir film oluşturarak metali korozyondan korur. Bir molekülün inhibisyon etkinliği kimyasal bileşimine, moleküler yapısına ve metal yüzeye olan afinitesine bağlıdır. En etkili organik inhibitörler, yapılarında π bağları olan organik bileşiklerdir. Bu bileşiklerin adsorpsiyonu, elektronik yapı, donör bölgesindeki sterik etki, aromatiklik, elektron yoğunluğu ve fonksiyonel gruplar (-CHO, -N=N, R-OH vb.) gibi faktörlerden etkilenir (Singh ve Quraishi, 2010; Lukovits vd., 1995; Ayers Jr ve Hackerman, 1963; Shukla vd., 2008; Quraishi ve Shukla, 2009; Shukla vd., 2009). Deneysel yöntemler korozyon inhibisyonu mekanizmasını açıklamakta yararlıdır, ancak pahalı ve zaman alıcı oldukları için, korozyon inhibisyonu araştırmalarında teorik hesaplamalı kimya yöntemlerini kullanmak daha da önemli hale gelmektedir (Obi-Egbedi vd., 2011).

Bu çalışmada, literatürde daha önce sentezlenmiş olan Tiyadiazol türevi L1 (N-(5-(2-kloro-6-florobenzil)-1,3,4-tiyadiazol-2-yl)benzamid), L2 (N-(5-(2-kloro-6-florobenzil)-1,3,4-tiyadiazol-2-yl)-4-nitrobenzamid), L3 (N-(5-(2-kloro-6-florobenzil)-1,3,4-tiyadiazol-2-yl)-4-(metiltiyo)benzamid) ve L4 (3,4-dikloro-N-(5-(2-kloro-6-florobenzil)-1,3,4-tiyadiazol-2-yl)benzamid) dört adet bileşiğin (Er vd., 2018) temel durumdaki yapıları modellenerek moleküler geometrileri teorik yöntemlerle elde edildi. Bileşiklerin kararlı yapılarına ait inhibisyon aktiviteleri, E_{HOMO} , E_{LUMO} , iyonizasyon potansiyeli (IP), elektron afinite (EA), mutlak yumuşaklık (S), kimyasal potansiyel (μ) ve mutlak elektronegatiflik (χ) gibi kuantum kimyasal tanımlayıcılarına bağımlı olarak hesaplanmıştır.

2. Materyal ve metod

2.1. Teorik hesaplama yöntemleri

Bileşiklerin moleküler modellenmesinde, 6-311G(d) (Foresman ve Frisch, 1996) baz setini

kullanan yoğunluk fonksiyonel teorisi DFT/B3LYP (Hohenberg ve Kohn, 1964; Becke, 1992) ve PM3 (Stewart, 1989) yarı deneysel metod kullanılmıştır. Tüm hesaplamalarda Gaussian 09 (Frisch vd., 2009) programı ve elde edilen sonuçları görselleştirmek için de GaussView 5 (Dennington vd., 2009) programı kullanılmıştır.

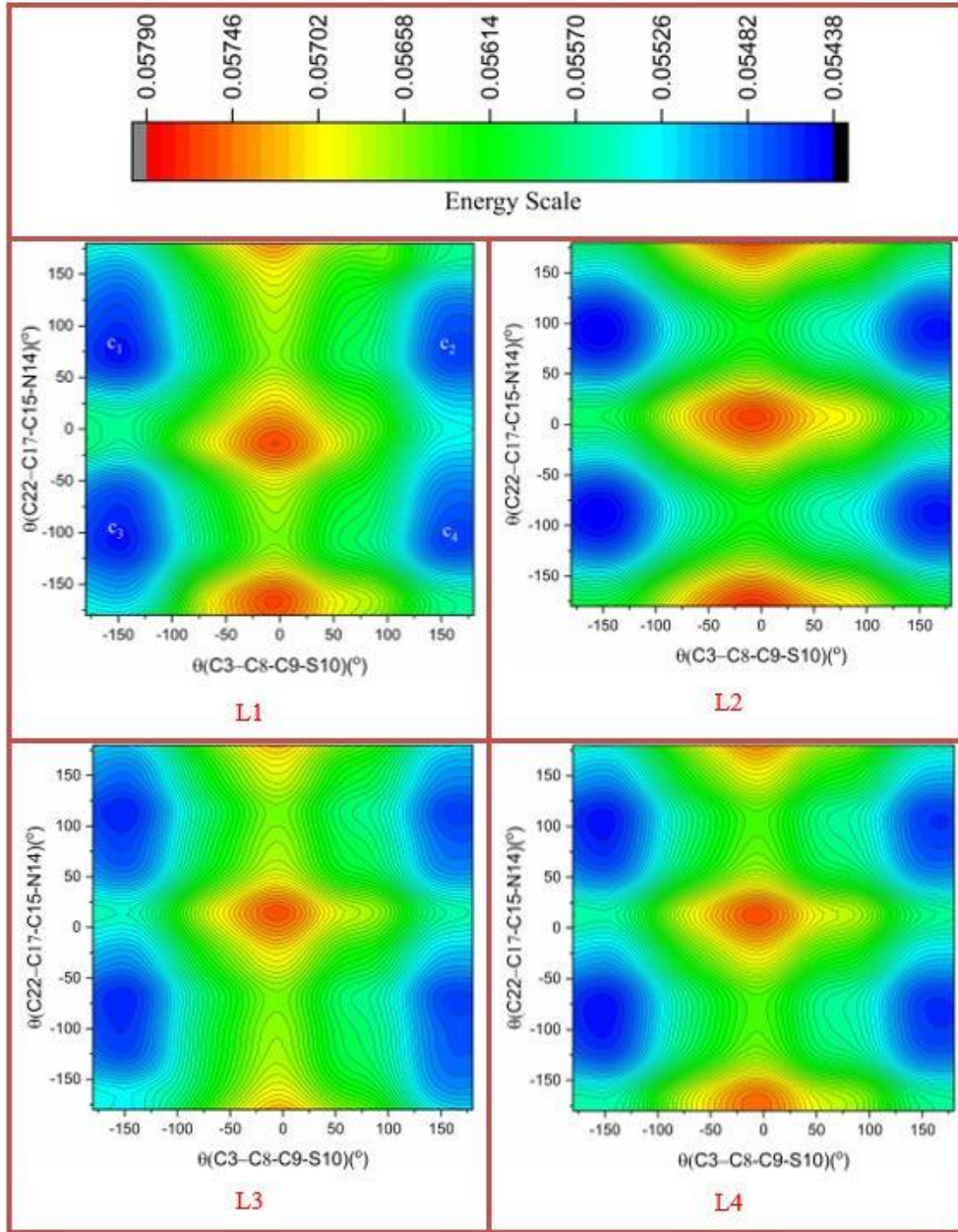
2.2. PES analizi

Tüm bileşiklerin kararlı yapıları, enerji yüzeyi taraması (PES) analizi ve yarı deneysel hesaplama metodu olan PM3 kullanılarak elde edilmiştir. Bu hesaplama bileşiklere ait θ_1 (C3-C8-C9-S10) ve θ_2 (C22-C17-C15-N14) dihedral açıları seçilerek yapılmıştır. Her bir açı $+180^\circ/-180^\circ$ aralığında 20° 'lik açılarla değiştirilerek her bir adımda tek nokta enerjileri hesaplanmıştır. PES analizi sonucu üç molekülde de 0° 'de simetrik 4 minimum enerjiye karşılık gelen konformasyonlar (c1-4) elde edildi (Şekil 1). 16 konformasyonun yeniden DFT/B3LYP/6-311G(d) yöntemi kullanılarak optimize işlemleri sonucunda, L1, L2, L3 ve L4 moleküllerine ait en kararlı yapılar elde edildi (Şekil 2). Tüm hesaplamalarda bu kararlı yapılar kullanılmıştır.

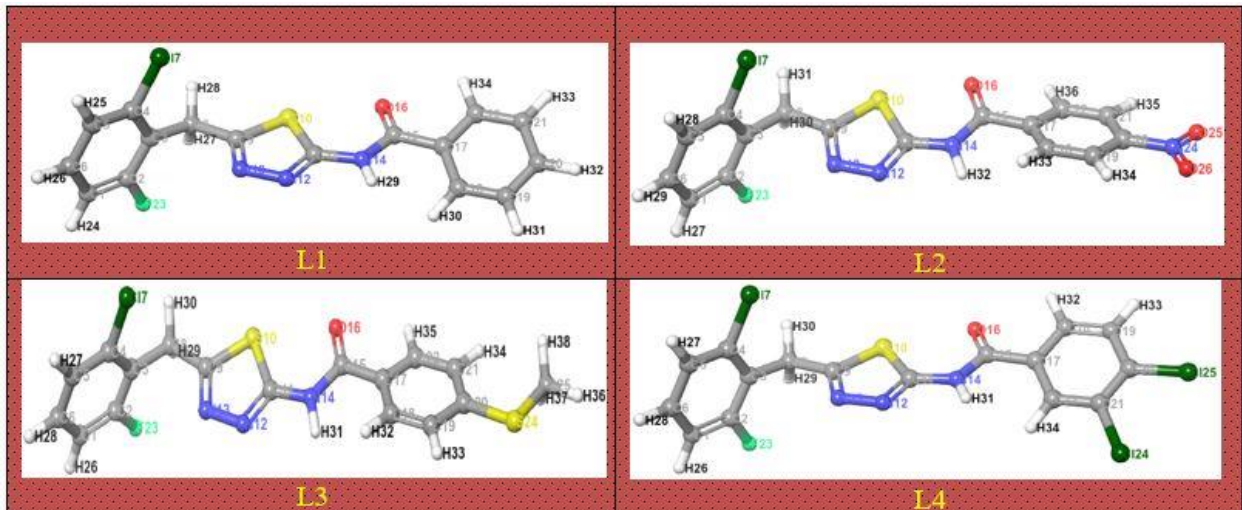
3. Bulgular ve tartışma

3.1. Frontier orbitaller ve MEP haritası

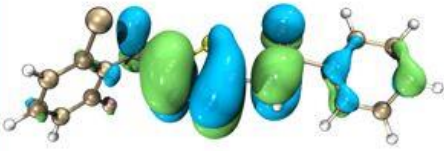
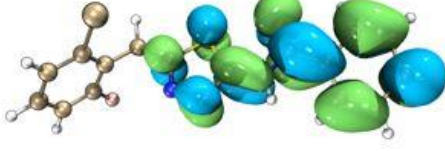
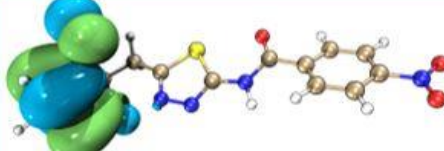
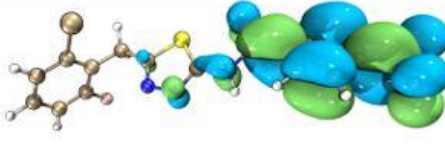

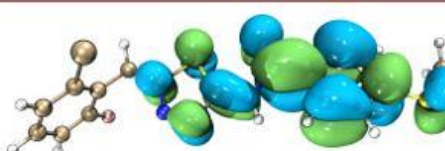
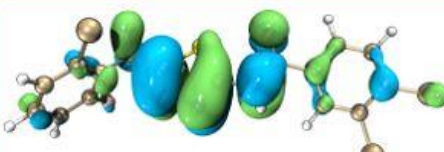
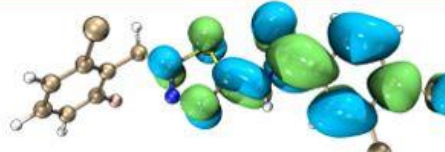
Elektronlarca işgal edilen en yüksek enerjiye sahip moleküler orbital HOMO ve işgal edilmemiş en düşük enerjiye sahip moleküler orbital ise LUMO olarak isimlendirilir. Bu orbitaller sınır moleküler orbital (FMO) olarak isimlendirilir. HOMO ve LUMO orbitalleri elektron verici ve alıcı gruplar olarak da adlandırılabilir (Fukui, 1982; Buyukuslu vd., 2010). Moleküler arası yük transferlerinin belirlenmesinde kullanılan bu orbitaller, iyonlaşma potansiyeli, elektron afinitesi, kimyasal reaktivite, elektronegatiflik ve elektrofiliklik endeksi gibi moleküler özelliklerin hesaplanmasında da kullanılır (Parr ve Pearson, 1983; Parr vd., 1978; Parr vd., 1999). Bileşiklerin HOMO ve LUMO orbitallerinin dağılımları Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 1. Bileşiklerin 3D PES analizi haritası



Şekil 2. Bileşiklerin kararlı yapıları

Mol.	HOMO	LUMO
L1		
L2		
L3		
L4		

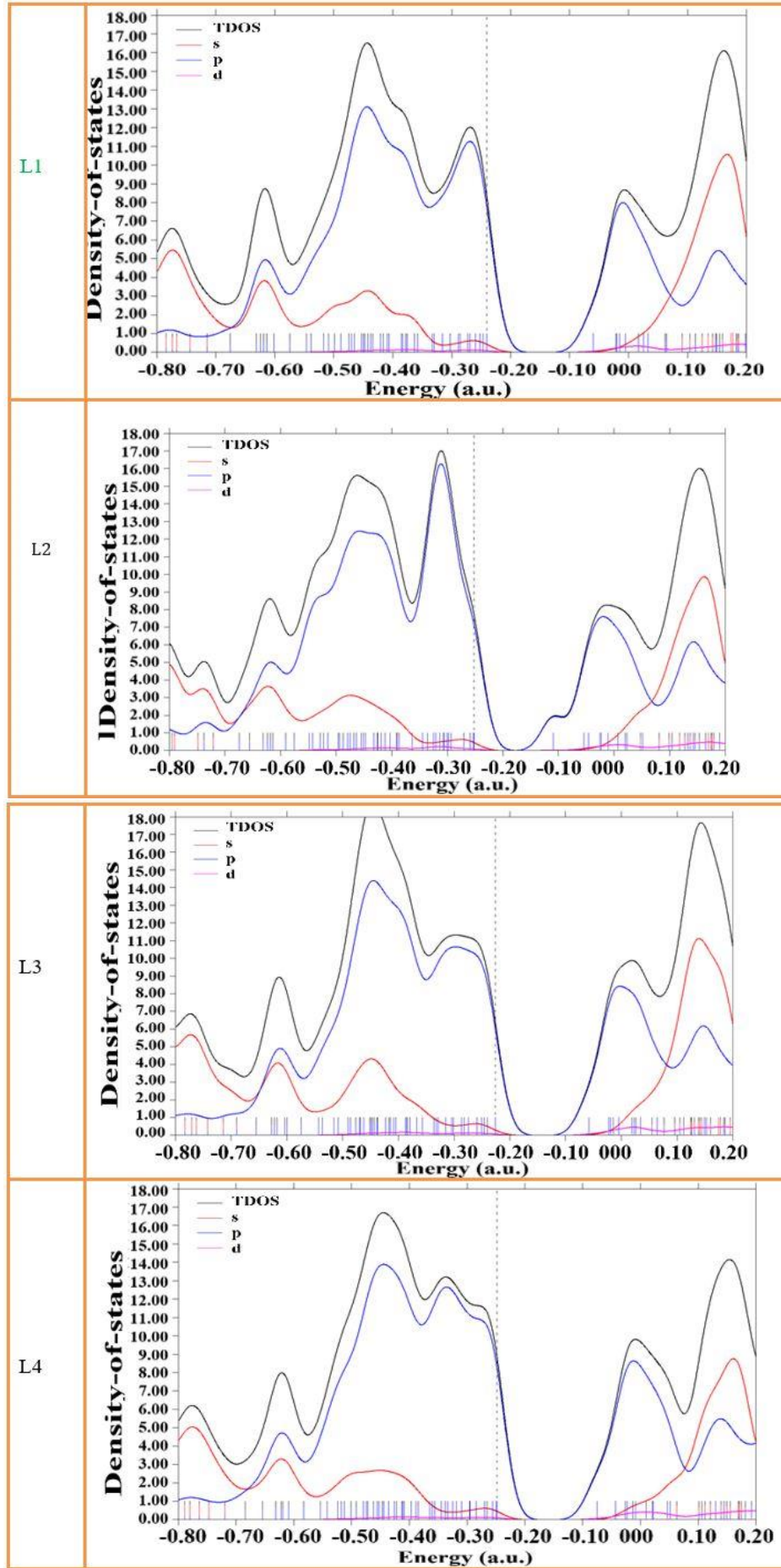
Şekil 3. Moleküllere ait Frontier orbitallerin gösterimi

Bu orbitallere en yüksek 5 atomun atomik katkısı; L1 bileşiği için LUMO: C15(%16)+ O16(%13)+ C20(%12)+ C18(%8)+ C19(%4), HOMO: N12(%19)+ N14(%17)+ C9(%16)+ N13(%12)+ C11(%12), L2 bileşiği için LUMO: N24(%16)+ O25(%15)+ O24(%15)+ C17(%10)+ C20(%9), HOMO: C5(%21)+ C1(%20)+ C2(%15)+ C17(%14)+ F23(%7), L3 bileşiği için LUMO: C15(%15)+ O16(%13)+ C20(%12)+ C17(%11)+ C22(%8), HOMO: S24(%42)+ C17(%10)+ C20(%8)+ C19(%7)+ C21(%6) ve L4 bileşiği için LUMO: N12(%18)+ N14(%16)+ C9(%16)+ N13(%12)+ C11(%12), HOMO: C33(%12)+ N29(%11)+ N25(%11)+ C34(%10)+ C39(%10) olarak hesaplanmıştır.

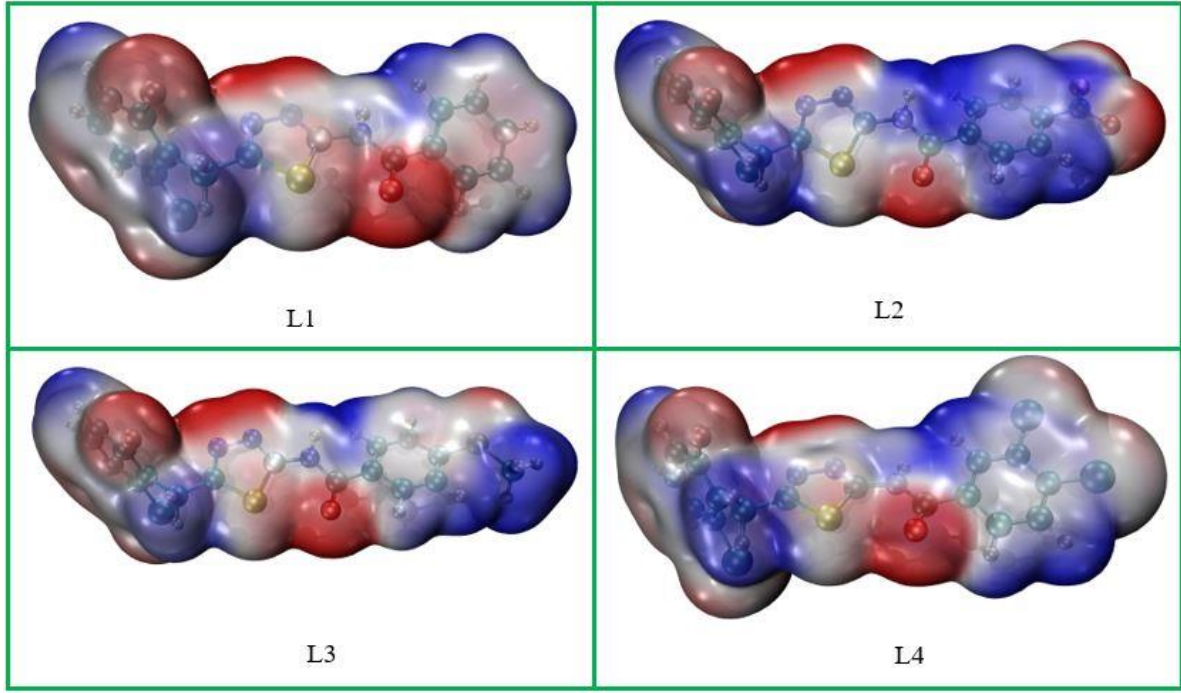
Durum Yoğunluğu (DOS), katı hal fiziği için önemli bir kavramdır, birim enerji aralığında durum sayısını temsil eder. Şekil 4'te molekülleri oluşturan s, p, d atomik orbitaller ve Toplam Durum Yoğunluğu (TDOS) gösterilmiştir. Şekilde

atomik orbitallerin daha çok s ve p orbitallerden oluştuğu görülmektedir.

Moleküler elektrostatik potansiyeli (MEP) tanımlamak için renk kodlama sistemi kullanılır. MEP haritasından türetilmiş bileşiklerin moleküler yüzey haritalarına (Şekil 5) bakıldığında kırmızı renk kısmen negatif yük veya elektron bakımından zengin, mavi renk ise kısmen pozitif yük veya elektron eksikliği olan bölgelerini temsil eder. Şekil 5'te görüldüğü gibi moleküllerin en negatif bölgeleri, O16, O25, O26 N18, N12 ve N43 atomları etrafında bulunurken en pozitif bölgeler N14 atomuna bağlı H atomu ve halkalar üzerindeki H atomları üzerinde bulunmaktadır. Sonuç olarak, O ve N atomlarının herhangi bir ligant-reseptör etkileşimde diğer atomlara göre daha güçlü etkileşimler göstereceği söylenebilir.



Şekil 4. Bileşiklerin TDOS, s, p ve d orbitalleri (Dikey kesik çizgiler, her bir bileşiğin HOMO enerji seviyesine karşılık gelir)



Şekil 5. Elektron yoğunluğundan türetilmiş MEP yüzeyleri

3.2. Kimyasal Reaktivite Tanımlayıcıları

Bir bileşiğin HOMO orbital enerjisi doğrudan iyonlaşma potansiyel enerjisi (IP) ile LUMO orbital enerjisi ise elektron afinitesi (EA) ile ilişkilidir ve aşağıdaki gibi verilir;

$$IP = -E_{HOMO} \quad (1)$$

$$EA = -E_{LUMO} \quad (2)$$

Aynı şekilde elektronegativite (χ), mutlak sertlik (η), kimyasal potansiyel (μ) ve global sertlik (S)

indeksleri (Parr vd., 1978; Yang ve Parr, 1985) aşağıdaki denklemlerle verilir.

$$\chi = IP + EA/2 \quad (3)$$

$$\eta = IP - EA/2 \quad (4)$$

$$\mu = -\chi \quad (5)$$

$$S = \eta/2 \quad (6)$$

Tablo 1’de tüm bileşiklere ait hesaplanan bu değerler verilmiştir. En kararlı yapı, toplam enerjisi -2733.53598 a.u. olan L4 bileşiğine aittir.

Tablo 1. Bileşiklerin kimyasal reaktivite belirleyicileri

Mol.	$E_{HOMO}(a.u.)$	$E_{LUMO}(a.u.)$	$\Delta E(a.u.)$	$\eta(a.u.)$	$S(a.u.)$	$\mu(a.u.)$	$\chi(a.u.)$	$E_{top}(a.u.)$
L1	-0.2486	-0.06874	-0.17986	0.08993	5.55988	-0.15867	0.15867	-1814.29705
L2	-0.26081	-0.11884	-3.86323	0.070985	7.043742	-0.18983	0.189825	-2018.85112
L3	-0.23286	-0.06737	-4.50325	0.082745	6.042661	-0.15012	0.150115	-2251.83174
L4	-0.25655	-0.08449	-4.68203	0.08603	5.811926	-0.17052	0.17052	-2733.53598

Bu parametreler, tüm bileşiklere ait elektron transfer kesri (ΔN) değerlerini elde etmek için kullanılmıştır. ΔN , inhibitörden metal yüzeye geçen elektronların sayısını ifade eder (Sulaiman ve Onawole, 2016) ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\Delta N = \frac{\chi_B - \chi_A}{2(\eta_B + \eta_A)} \quad (7)$$

Denklemdaki, χ_B ve η_B metal atomlara ait sırasıyla elektronegativite ve mutlak sertlik iken χ_A ve η_A ise L1-L4 bileşiklerine ait değerlerdir. Eğer $\Delta N < 3.6$ ise metal yüzeyinde verilen elektronların artmasıyla birlikte korozyon önleme etkisi de artmaktadır (Lukovits vd., 2001). Bu çalışmada Cu ve Fe metal atomları üzerindeki korozyon etkisi incelenmiş olup, $\chi_{Cu} = 4.48$ eV/mol (Pearson,

1988), $\eta_{Cu} = 0$ eV/mol (Martinez, 2003), $\chi_{Fe} = 7$ eV/mol ve $\eta_{Fe} = 0$ eV/mol (Gece ve Bilgiç, 2010) alınarak hesaplamalar yapıldı.

Tablo 2'deki verilere göre tüm bileşiklerin Fe metal atomu için korozyon önleme etkisi Cu metaline göre daha fazla çıkarken, L3 bileşiği hem Fe hem de Cu metalleri için daha yüksek değerlere sahip olduğu görüldü. Elde edilen bu bulgular, Fe ve Cu metalleri için korozyon inhibitörü olarak L3 bileşiğinin diğer üç bileşiğe göre daha iyi sonuç vereceğini gösterir.

Tablo 2. Bileşiklerin inhibisyon değerleri

İnhibitör	$\delta - Fe$	$\delta - Cu$
L1	0.5481	0.0332
L2	0.4749	-0.1774
L3	0.6474	0.0878
L4	0.5041	-0.0342

4. Sonuçlar

Literatürde sentezlenmiş olan Tiyadiazol türevi organik bileşik L1, L2, L3 ve L4'ün Fe ve Cu metalleri için korozyon inhibisyon etkinliği davranışını belirleyebilmek için, 6-311G(d) temel seti ile B3LYP fonksiyonel teoremi kullanılarak bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bileşiklerin hesaplanan HOMO ve LUMO enerjileri ile, elektron afinite (EA), iyonizasyon potansiyeli (IP), elektronegatiflik (χ), mutlak sertlik (η), kimyasal potansiyel (μ), mutlak yumuşaklık (S) gibi bazı kuantum kimyasal parametreleri hesaplandı. Bu parametreler kullanılarak, tüm bileşiklerin inhibitörden metale olan yük transferini belirleyen elektron transfer kesri (ΔN) katsayıları hesaplandı. SCH₃ fonksiyonel grubu bağlı olan L3 bileşiğinin hem Fe hem de Cu metalleri için en aktif bileşik olurken en az etki ise NO₂ fonksiyonel grubu bağlı olan L2 bileşiğinde görülmüştür.

Kaynaklar

- Athar, M., Ali, H. and Quraishi M. (2002). Corrosion inhibition of carbon steel in hydrochloric acid by organic compounds containing heteroatoms. *British Corrosion Journal*, 37 (2), 155-158. <https://doi.org/10.1179/000705902225002376>
- Ayers, Jr R.C. and Hackerman, N. (1963). Corrosion inhibition in HCl using methyl pyridines. *Journal of the Electrochemical Society*, 110 (6), 507. <https://doi.org/10.1149/1.2425802>
- Becke, A.D. (1992). Density-functional thermochemistry. I. The effect of the exchange-only gradient correction. *The Journal of chemical*

physics, 96 (3), 2155-2160. <https://doi.org/10.1063/1.462066>

- Buyukuslu, H., Akdogan, M., Yildirim, G. and Parlak, C. (2010). Ab initio Hartree-Fock and density functional theory study on characterization of 3-(5-methylthiazol-2-ylidiazonyl)-2-phenyl-1H-indole. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 75 (4), 1362-1369. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2010.01.003>
- Dennington, R., Keith T. and Millam, J. (2009). GaussView, version 5.
- Er, M., Abounakhla, A.M., Tahtaci, H., Bawah, A.H., Çınaroğlu, S.S., Onaran, A. and Ece, A. (2018). An integrated approach towards the development of novel antifungal agents containing thiadiazole: synthesis and a combined similarity search, homology modelling, molecular dynamics and molecular docking study. *Chemistry Central Journal*, 12 (1), 121. <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0485-3>
- Foresman, J. and Frisch, A. (1996). Exploring chemistry with electronic structure methods: A guide to using Gaussian, Pittsburgh, PA: Gaussian. Inc,
- Frisch, M., Trucks, G., Schlegel, H.B., Scuseria, G.E., Robb, M.A., Cheeseman, J.R., Scalmani, G., Barone, V., Mennucci, B. and Petersson, G. (2009). Gaussian 09, Revision d. 01, Gaussian. Inc, Wallingford CT, 201
- Fukui, K. (1982). Role of frontier orbitals in chemical reactions. *Science*, 218 (4574), 747-754
- Gece, G. and Bilgiç, S. (2010). A theoretical study of some hydroxamic acids as corrosion inhibitors for carbon steel. *Corrosion science*, 52 (10), 3304-3308. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.06.005>
- Hohenberg, P. and Kohn, W. (1964). Inhomogeneous electron gas. *Physical review*, 136 (3B), B864. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.136.B864>
- Lukovits, I., Kalman, E. and Palinkas, G. (1995). Nonlinear group-contribution models of corrosion inhibition. *Corrosion*, 51 (3), 201-205. <https://doi.org/10.5006/1.3294362>
- Lukovits, I., Kalman, E. and Zucchi, F. (2001). Corrosion inhibitors—correlation between electronic structure and efficiency. *Corrosion*, 57 (1), 3-8. <https://doi.org/10.5006/1.3290328>
- Martinez, S. (2003). Inhibitory mechanism of mimosa tannin using molecular modeling and substitutional adsorption isotherms. *Materials Chemistry and Physics*, 77 (1), 97-102. [https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(01\)00569-7](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(01)00569-7)

- Obi-Egbedi, N., Obot, I., El-Khaiary, M., Umoren, S. and Ebenso, E. (2011). Computational simulation and statistical analysis on the relationship between corrosion inhibition efficiency and molecular structure of some phenanthroline derivatives on mild steel surface. *Int J Electrochem Sci*, 6 (5649), e5675
- Parr, R.G., Donnelly, R.A., Levy, M. and Palke, W.E. (1978). Electronegativity: the density functional viewpoint. *The Journal of Chemical Physics*, 68 (8), 3801-3807. <https://doi.org/10.1063/1.436185>
- Parr, R.G. and Pearson, R.G. (1983). Absolute hardness: companion parameter to absolute electronegativity. *Journal of the American chemical society*, 105 (26), 7512-7516. <https://doi.org/10.1021/ja00364a005>
- Parr, R.G., Szentpaly L.V. and Liu, S. (1999). Electrophilicity index. *Journal of the American Chemical Society*, 121 (9), 1922-1924. <https://doi.org/10.1021/ja983494x>
- Pearson, R.G. (1988). Absolute electronegativity and hardness: application to inorganic chemistry. *Inorganic chemistry*, 27 (4), 734-740. <https://doi.org/10.1021/ic00277a030>
- Quraishi, M., Ahamad, I., Singh, A.K., Shukla, S.K., Lal, B. and Singh, V. (2008). N-(Piperidinomethyl)-3-[(pyridylidene) amino] isatin: A new and effective acid corrosion inhibitor for mild steel. *Materials chemistry and physics*, 112 (3), 1035-1039. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2008.07.011>
- Quraishi, M. and Ansari, F. (2003). Corrosion inhibition by fatty acid triazoles for mild steel in formic acid. *Journal of applied electrochemistry*, 33 (3-4), 233-238. <https://doi.org/10.1023/A:1024106123577>
- Quraishi, M. and Khan, S. (2006). Inhibition of mild steel corrosion in sulfuric acid solution by thiadiazoles. *Journal of applied electrochemistry*, 36 (5), 539-544. <https://doi.org/10.1007/s10800-005-9087-6>
- Quraishi, M. and Shukla, S.K. (2009). Poly (aniline-formaldehyde): a new and effective corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid. *Materials Chemistry and Physics*, 113 (2-3), 685-689. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2008.08.028>
- Shukla, S.K. and Quraishi, M. (2009). Ceftriaxone: a novel corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid. *Journal of Applied Electrochemistry*, 39 (9), 1517-1523. <https://doi.org/10.1007/s10800-009-9834-1>
- Shukla, S.K., Quraishi, M. and Prakash, R. (2008). A self-doped conducting polymer "polyanthranilic acid": An efficient corrosion inhibitor for mild steel in acidic solution. *Corrosion Science*, 50 (10), 2867-2872. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.07.025>
- Shukla, S.K., Singh, A.K., Ahamad, I. and Quraishi, M. (2009). Streptomycin: A commercially available drug as corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid solution. *Materials Letters*, 63 (9-10), 819-822. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2009.01.020>
- Singh, A.K. and Quraishi, M. (2010). Effect of Cefazolin on the corrosion of mild steel in HCl solution. *Corrosion Science*, 52 (1), 152-160. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.08.050>
- Singh, A.K., Shukla, S.K., Singh, M. and Quraishi, M. (2011). Inhibitive effect of ceftazidime on corrosion of mild steel in hydrochloric acid solution. *Materials Chemistry and Physics*, 129 (1-2), 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.03.054>
- Stewart, J.J. (1989). Optimization of parameters for semiempirical methods II. Applications. *Journal of computational chemistry*, 10 (2), 221-264. <https://doi.org/10.1002/jcc.540100209>
- Sulaiman, K.O. and Onawole, A.T. (2016). Quantum chemical evaluation of the corrosion inhibition of novel aromatic hydrazide derivatives on mild steel in hydrochloric acid. *Computational and Theoretical Chemistry*, 1093, 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.comptc.2016.08.014>
- Yang, W. and Parr, R.G. (1985). Hardness, softness, and the Fukui function in the electronic theory of metals and catalysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 82 (20), 6723-6726. <https://doi.org/10.1073/pnas.82.20.6723>

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 Fen Bilimleri Enstitüsü’ne devrederek, kendi haklarından feragat etmektedirler.

5. MAKALE TÜRLERİ

Dergide yayınlanan farklı yayın formatları ile ilgili bilgiler ve yazı türlerine göre yazarların dikkat etmeleri gereken hususlar şu şekildedir:

5.1 Araştırma Makaleleri: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Amaç, Gereç ve Yöntem, Bulgular, Tartışma ve Sonuçlar, gerekli ise Etik konular, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolara ilgili açıklamalar içermelidir. Makale konunun uzmanları tarafından tekrarlanabilecek şekilde yeterli bilgiyi içermelidir. Bu tür makalelerde ana metin 3500-4000 kelime arası olmalı, kaynak sayısı 40'ı aşmamalıdır.

5.2 Derlemeler: Yazar(lar)ın uzmanlık alanında yapılmış eski araştırmaların derlenip eleştirel bir şekilde yorumlanıp ortaya yeni bir görüş ileri süren çalışmaları kapsmalıdır. Bu tür makale öneren yazar(lar)ın en az 10 SCI-Expanded makalesi bulunmalı ve bunların en az 5 tanesi derleme yaptığı alanda olmalıdır. Derlemeler, Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Ana Bölümler, Alt Bölümler, Sonuç, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolara ilgili açıklamalar içermelidir. Ana metin en fazla 5000 kelime olup kaynak sayısında bir kısıtlama yoktur. 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.



- ZEYBEKOĞLU U**; Bulanık c ortalamalar yöntemi ile Karadeniz bölgesi standart süreli yağış şiddetlerinin kümelenmesi / *Clustering of standard duration rainfall intensity of the Black Sea region by fuzzy c means method*.....285-287
- SÜNNETÇİ M O, ERSOY H**; Sahilkent (Bafra, Samsun) yöresindeki alüvyal zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin CPT verileri kullanılarak araştırılması / *Investigating liquefaction potential of alluvial soils in Sahilkent (Bafra, Samsun) area using CPT data*.....288-304
- KOÇAN N**; Kıyı peyzaj tasarımlarının önemi ve Kurucuşile (Bartın) limanı için öneriler / *Importance of coastal landscape designs and suggestions for Kurucuşile (Bartın) port*.....305-314
- AKAY Ş, SEFAOĞLU M**; Production and characterization of zinc oxide nanoparticles in microsystems via green synthesis / *Yeşil sentez yoluyla mikrosistemlerde çinko oksit nanopartiküllerin üretimi ve karakterizasyonu*.....315-324
- ÇELİK S**; Kitosan-şeker pancarı posası biyokompozit sorban sisteminin anyonik boyarmadde biyosorpsiyon potansiyeli / *Anionic dye biosorption of potential of chitosan-sugar beet pulp biocomposite sorbent system*.....325-338
- BARAN H A**; Hakkâri ili baz metal yataklarının uzaktan algılama ile belirlenmesi / *Determination of base metal deposits in Hakkâri province by remote sensing*.....339-347
- PALA O**; Silah hedef atama problemi için uyarlanmış yerel arama ile yeni bir melez genetik algoritma / *A new hybrid genetic algorithm with local search adapted for weapon target assignment problem*.....348-356
- GÜRCAN F, ÖZYURT Ö**; Stackoverflow gönderilerinde tartışılan trend konuların kelime frekans analizi ile belirlenmesi / *Identification of trend topics discussed in stackoverflow posts by word frequency analysis*.....357-368
- SELÇUK A Y, ÖZKOÇ Ö Ü, ZEYBEKOĞLU Ü, KEFELİOĞLU H**; Preliminary data on diet of the Lesser Kestrel (*Falco naumanni* Fleischer) in Aralık, Iğdır province (Eastern Anatolia Region, Turkey) / *Aralık, Iğdır (Doğu Anadolu Türkiye)'da küçük kerkenez (Falco naumanni Fleischer) diyeti hakkında ön veri*.....369-374
- KAYABAŞI O**; Diş tedavisinde kullanılan post core sistemin yaklaşık çözüm yöntemleri kullanılarak optimum tasarımı / *Optimum design of post core system used in dental treatment using approximate solution methods*.....375-383
- ÇETİNKAYA A, MERT O**; Mittag-Leffler fonksiyonunu içeren analitik fonksiyonların bazı özellikleri / *Some properties of analytic functions involving the Mittag-Leffler function*.....384-393
- TURNA İ, SEVİMLİ T, YILDIRIM N**; Kentsel yeşil alanların peyzaj ve eko-silvikültürel yönden incelenmesi: Trabzon örneği / *Investigation of urban green areas from landscape and eco-silvicultural aspects: the sample of Trabzon*.....394-404
- FIRAT M, YILMAZ S, BOZKURT C**; Su kayıp yönetimi için temel hesaplama araçlarının geliştirilmesi ve temel su kayıp bileşenlerinin analizi / *Development of basic analysis tools for water loss management and analysis of basic water loss components*.....405-416
- YEŞİL BARAN F**; The eigenvalues of circulant matrices with generalized tetranacci numbers / *Genelleştirilmiş tetranacci sayıları ile tanımlı circulant matrislerin özdeğerleri*.....417-423
- KANTARCI F**; Lif boyunun ve içeriğinin geopolimer betonların asit direncine etkisi / *The effect of fiber length and content on acid resistance of geopolymer concrete*.....424-437
- DOĞAN C, DEMİR İ**; Polymer fibers and effects on the properties of concrete / *Polimer lifler ve beton özelliklerine etkileri*.....438-451
- YILDIZ A, SONER KARA S, ÖZKAN C**; Sağlık kurumlarının ve eczanelerin taleplerine yönelik ecza deposu yer seçimi problemi / *Pharmaceutical warehouse site selection problem considering the demands of medical institutions and pharmacies*.....452-465
- EKEN M**; Farklı mineral ve tarımsal atık kaplamalı betonarme donatıların ve katkılı betonların korozyon performansının incelenmesi / *Investigation of corrosion performance of different mineral and agricultural waste coated reinforced concrete reinforcements and additive concrete*.....466-481
- ÇİFTÇİ M, DEMİRHAN S**; Effect of nano type and slag replacement level on cement mortars / *Nano tipi ve granüle yüksek fırın cürufu ikame oranının çimento harçlarına olan etkisi*.....482-496

MAZLUM Y, BAYATA H F, BAŞ F İ, ÇOLAK M A, BAYRAK Ü ; Analysis of car park etudes with different statistical methods and modeling with GIS: Erzincan province case / <i>Otopark etütlerinin farklı istatistiksel yöntemler ile analizi ve CBS ile modellenmesi: Erzincan ili örneği</i>	497-509
KARSLIOĞLU A, ALKAYIŞ M H, ONUR M İ ; Sentinel-1 uydusu ile deprem kaynaklı yüzey çökme analizi: Sivrice-Doğanyol-Pütürge örneği / <i>Earthquake induced surface subsidence analysis with Sentinel-1 satellite: Sivrice-Doğanyol-Pütürge</i>	510-521
ARSLAN M ; Düzgün yıldız çokgenlerde çizgiler ve koordinatlar / <i>Lines and coordinates in regular star polygons</i>	522-529
ÖZEN S ; Volkanik tüf esaslı geopolimerlerin basınç dayanımına kür süresi ve sıcaklığın etkileri / <i>Effect of curing time and temperature on compressive strength of volcanic tuff-based geopolymer</i>	530-536
GÜZELCE B, BAYRAK G ; Developing a real-time pattern matching algorithm using artificial neural network for a reliable quality control in industrial applications / <i>Endüstriyel uygulamalarda güvenilir bir kalite kontrolü için yapay sinir ağı kullanan gerçek zamanlı bir desen eşleştirme algoritmasının geliştirilmesi</i>	537-546
KARA M ; Kalın ve katmanlı kompozit plakaların temel doğal frekansının mekanik özelliklerin küçük değişimlerine duyarlılığı / <i>Sensitivity of fundamental natural frequency of thick and laminated composite plates in small changes of mechanical properties</i>	547-553
GÜZEY H M ; Hastane kapasitesini aşmayacak şekilde Covid-19 yayılımının geri adımlamalı kontrolü / <i>Back-stepping control of Covid-19 spread not to exceed hospital capacity</i>	554-565
AYDIN S ; Ag katkı CdO ince filmlerinin sıcak püskürtme tekniği ile büyütülmesi ve yapısal incelemesi / <i>Growth and structural characterization Ag doped CdO thin films by spray pyrolysis technique</i>	566-572
ÇILGIN E ; Investigation of the usability of essential oils in diesel engines as a new biodiesel source / <i>Yeni bir biyodizel kaynağı olarak uçucu yağların dizel motorlarda kullanılabilirliğinin araştırılması</i>	573-585
VAROL T, AKÇAY S B, GÜLER O ; Akımsız kaplama yöntemi ile Cu-Ag bimetal parçacıkların üretimi ve karakterizasyonu / <i>Fabrication and characterization of Cu-Ag bimetal particles by electroless coating method</i>	586-596
GÖR M ; Limit denge analizi (Bishop Yöntemi) ile kütle hareketinin mekanizması ve önlem yapısının analizi: Van ili örneği / <i>The analysis of mass movement mechanism using limit equilibrium method (Bishop Method) and the analysis of retaining structure: a case study for Van province</i>	597-608
TAŞYÜREK M, EKİNCİ Ş ; Deniz içi nakil hatlarında polimer esaslı CNT takviyeli kompozit boruların kullanılabilirliği / <i>Usability of polymer based CNT reinforced composite pipes in marine transport lines</i>	609-621
ÇELİK G ; Synthesis and structural characterization of novel pyrazoline derivatives / <i>Yeni pirazolin türevlerinin sentezi ve yapı karakterizasyonu</i>	622-628
KARAKURT T ; Cu ve Fe Metalleri için tiyadiazol türevi bileşiklerin kuantum kimyasal hesaplamaları ve korozyon inhibisyon aktiviteleri / <i>Quantum chemical calculations and corrosion inhibition activities of thiadiazole derivative compounds for Cu and Fe metals</i>	629-636