



# GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

## FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Gümüşhane University Journal of Science

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ YAYINI

PUBLISHED BY GÜMÜŞHANE UNIVERSITY

ISSN 2146 - 538X

CİLT/VOLUME: 12

SAYI/NUMBER : 2

YIL/YEAR : 2022

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

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



EBSCO



ULAKBİM TR DİZİN



*Gümüşhane University Journal of Science*  
**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**  
*Published by Gümüşhane University*  
Cilt/Volume: 12 Sayı/Issue: 2 Yıl/Year: 2022  
Üç ayda bir yayımlanır/ *Published four times a year*  
**ISSN 2146-538X**

**Sahibi / Owner**

*Prof. Dr. Halil İbrahim ZEYBEK*  
Gümüşhane Üniversitesi Adına  
*On the behalf of Gümüşhane University*

**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. Necati ÇELİK*  
*Prof. Dr. Fatih DÖNER*  
*Prof. Dr. Salim Serkan NAS*  
*Prof. Dr. Bahri BAYRAM*  
*Prof. Dr. Hüseyin DEMİR*  
*Doç. Dr. Enver AKARYALI*  
*Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ*

*Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER*  
*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 Lale CONA*  
*Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK*  
*Öğr. Gör. Salih TÜRK*

**Dergi Sekreteryası / Secretary**

*Arş. Gör. Dr. İlker ERKAN*  
*Arş. Gör. Şener ALİYAZICIOĞLU*

**Yayın Türü / Publication Type**

*Yaygın süreli ve hakemli/ Common term and refereed*

**Yayın Tarihi / Publication Date**

**15 / 04 / 2022**

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



**Gümüşhane University Journal of Science**  
**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**

Published by Gümüşhane University

Cilt/Volume: 12 Sayı/Issue: 2 Yıl/Year: 2022

Üç ayda bir yayımlanır/ Published four times a year

ISSN 2146-538X

**Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board**

- Prof. Dr. Jose Francisco Gomez Aguilar-Cenidet  
Prof. Dr. Vecihi AKSAKAL-Bayburt Üniversitesi  
Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ-Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. Gökhan APAYDIN- Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Zafer ASLAN-Balıkesir Üniversitesi  
Prof. Dr. Charyyar Ashyralyyev-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. Bilge BAHAR-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Bahri BAYRAM-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Fikri BULUT-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Kamil COŞKUNÇELEBİ-Karadeniz Teknik Üni  
Prof. Dr. Çetin CÖMERT- Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Günay ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Tufan ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Özlem ÇAVDAR-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Necati ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi-  
Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN-Uludağ Üniversitesi  
Prof. Dr. Abdurrahman DOKUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Çiğdem SAYDAM EKER-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Murat EKİNCİ-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Abdelhai ELAZZOUI-Sidi Mohamed Ben Abdellah U.  
Prof. Dr. 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 PROHIT- Rajasthan Technical University  
Prof. Dr. Abedallah RABABAH-Jordan Uni. Sci. and Tech.  
Prof. Dr. M. Burhan SADIKLAR-Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. S. Beyza Ö. SARIKAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Müdahir ÖZGÜL-Atatürk Üniversitesi  
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. Hazan ALKAN AKINCI Artvin Çoruh Üni.  
Doç. Dr. Cemalettin BALTACI-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Mehmet BAŞOĞLU-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Zafer ÇAKIR-Alaaddin Keykubat Üniversitesi  
Doç. Dr. Mustafa ÇULLU-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. Selami KESLER-Pamukkale Üniversitesi  
Doç. Dr. Mustafa KUMRAL-İstanbul Teknik Üni  
Doç. Dr. Emre ÖZKOP-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Doç. Dr. Uğur ŞİMŞEK-Iğdır Üniversitesi  
Doç. Dr. Yener TOP-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Ayhan TOZLUOĞLU-Düzce Üniversitesi  
Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Alaaddin VURAL-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Hilal YILDIZ-Neveşehir Hacı Bektaş Veli Üni.  
Doç. Dr. Sefa YALVAÇ-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Cem YÜCEL-Gümüşhane Üniversitesi  
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 İbrahim ÇAVUŞOĞLU-Gümüşhane Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Kemal ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim DÜZGÜN-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet M. KAHRAMAN-İstanbul Teknik Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Selim KAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Nurçin KÜÇÜK KENT-Gümüşhane Üni.  
Dr. Öğr. Üyesi Kemal KUVVET- Recep Tayyip Erdoğan Üni  
Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman LERMİ-N. Ömer Halisdemir Üni.  
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. İlyas KHAN- Majmaah University  
Dr. Rizwan Ul HAQ-Bahria University  
Dr. Chokka RAVICHANDRAN-Bharathiar University

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

**Araştırma Makalesi / Research Article**

Ali KÖSEOĞLU	<b>Subsethood measure for picture fuzzy sets and its applications on multicriteria decision making</b> <i>Görüntü bulanık kümelerde altkümelik ve çok kriterli karar vermeye uygulanması</i>	<b>385</b>
Birsan SAĞIR İrem EYÜPOĞLU	<b>Geometrik hesap tarzına göre Lebesgue dizi uzaylarının bazı geometrik özellikleri</b> <i>Some geometric properties of Lebesgue sequence spaces according to geometric calculation style</i>	<b>395</b>
Ali ÇİRİŞ Mehmet Ali OLGAR	<b>Fabrication of SnS thin film by rapid thermal processing: effect of annealing temperature in sulfurization process</b> <i>Hızlı ısıtma işlemi SnS ince filmlerinin üretimi: sülfürleme işleminde tavlama sıcaklığının etkisi</i>	<b>404</b>
Eda GÜNEŞ Hatice Kübra ERÇETİN	<b>Çimlendirilme ortamına göre brokoli filizinin in vivo etkisinin belirlenmesi</b> <i>Determination of in vivo effect of broccoli sprouts according to germination environment</i>	<b>414</b>
Okan Mert KATIPOĞLU Sefa Nur YEŞİLYURT Hüseyin Yıldırım DALKILIÇ	<b>Yeşilirmak havzasındaki hidrolojik kuraklıkların Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen yöntemi ile trend analizi</b> <i>Trend analysis of hydrological droughts in Yeşilirmak basin by Mann Kendall and Sen Innovative Trend Analysis</i>	<b>422</b>
Enver YAZĞILI Muhammet BAYKARA	<b>Türkçe metinlerde makine öğrenmesi yöntemleri ile siber zorbalık tespiti</b> <i>Cyberbullying detection with machine learning methods in Turkish texts</i>	<b>443</b>
Savaş KOÇ Cengiz DOĞAN	<b>Manufacturing and controlling 5-axis ball screw driven industrial robot moving through G codes</b> <i>G kodu ile hareket eden beş eksenli bilyalı mil tahrikli endüstriyel robot imalatı ve kontrolü</i>	<b>454</b>
Saliha TAŞÇIOĞLU Adem KORKMAZ	<b>Görsel ve işitsel algı ilişkisinin müzik türüne bağlı bitkisel tasarım örnekleri üzerinden incelenmesi</b> <i>Investigation of relationship between visual and aural perception on planting design samples depending on the type of music</i>	<b>466</b>
Nural YÜKSEL Burçin SALTIK Esra DAMAR	<b>Parallel curves in Minkowski 3-space</b> <i>3-boyutlu Minkowski uzayında paralel eğriler</i>	<b>480</b>
Muzaffer Can İBAN Ezgi ŞAHİN	<b>Monitoring burn severity and air pollutants in wildfire events using remote sensing data: the case of Mersin wildfires in summer 2021</b> <i>Uzaktan algılama verileri ile orman yangınlarında yanma şiddetinin ve hava kirlenmelerinin izlenmesi: 2021 yazı Mersin orman yangınları örneği</i>	<b>487</b>
Şeyda Merve KARATAŞ Mehmet ÖZ Muhammed Said FİDAN Cemalettin BALTACI Osman ÜÇÜNCÜ	<b>Gümüşhane yöresinde yetişen Ribes petraeum Wulfen (Frenk Üzümü) bitkisinden uçucu yağın elde edilmesi, kimyasal içerik ve biyolojik aktivitelerinin belirlenmesi</b> <i>Determination of chemical content and biological activities obtaining essential oil from Ribes petraeum Wulfen plant grown in Gümüşhane region</i>	<b>498</b>
Veysi CENGİZ Hatice KUŞAK SAMANCI	<b>Alternatif çatıdan elde edilen dual Smarandache eğrileri ve regle yüzeyleri</b> <i>Dual Smarandache curves and ruled surfaces obtained from the alternative frame</i>	<b>512</b>
Tuğba BİÇEN Aslı Ayhan ARSLAN Ali VARDAR	<b>Regional solar and wind energy characteristics and it's energy potential in northwest of Turkey</b> <i>Türkiye'nin kuzeybatısındaki bölgesel güneş-rüzgâr enerjisi karakteristikleri ve enerji potansiyeli</i>	<b>527</b>

Ali Kıvanç ŞAHİN Ömür AKYAZI Erdoğan ŞAHİN Oğuzhan ÇAKIR	<b>Uçak eğim kontrol sistemi için ölüm oyunu optimizasyonuna dayalı PID-F denetleyicisi tasarımı</b> <i>PID-F controller design based on battle royale optimization for aircraft pitch control</i>	<b>539</b>
Ekrem SARALIOĞLU Oğuz GÜNGÖR	<b>Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden daha hızlı bölge tabanlı derin öğrenme modeli ile bina tespiti</b> <i>Building detection from high-resolution satellite images with faster regional based deep learning model</i>	<b>550</b>
Nurhan KOÇAN	<b>Safranbolu Eski Çarşı kentsel koruma-kullanma planlaması</b> <i>Urban conservation-usage planning of Safranbolu Old Bazaar</i>	<b>564</b>
Zümra BAKICI TANAYDIN Mehmet Kayra TANAYDIN Muharrem İNCE Nizamettin DEMİRKIRAN	<b>Ponza ile bakır ve kurşun iyonlarının adsorpsiyon karakteristikleri</b> <i>Adsorption characteristics of copper and lead ions with pumice</i>	<b>581</b>
Metin Mutlu AYDIN İbrahim AYDOĞDU Mehmet Sinan YILDIRIM	<b>Sinyalize kavşaklarda ülkelere göre gecikme ve kuyruk uzunluğu denklemleri geliştirilmesinin gerekliliği üzerine bir araştırma</b> <i>A study on the necessity of developing delay and queue length equations according to countries at signalized intersections</i>	<b>597</b>
Orhan DALKILIÇ	<b>Belirsizlik problemlerine yönelik yeni bir matematiksel yaklaşım: VFPIFS-küme</b> <i>A novel mathematical approach to uncertainty problems: VFPIFS-set</i>	<b>614</b>
Fatih ÖZTÜRK	<b>Kamu kurumlarında yönetici pozisyonları için AHP-PROMETHEE yöntemleri ile adayların değerlendirilmesi</b> <i>Evaluation of candidates for executive positions in public institutions with AHP-PROMETHEE methods</i>	<b>624</b>
Fatih ŞENASLAN Murat AYDIN	<b>Investigation of microstructural change and damping behaviour of Zn-27Al-1Cu alloy in different aging periods</b> <i>Zn-27Al-1Cu alaşımının farklı yaşlandırma periyotlarında mikroyapısal değişiminin ve darbe davranışının incelenmesi</i>	<b>636</b>
Sinem MUTLU Gültekin ÇAĞIL Ahmet AYAR	<b>CRITIC tabanlı PROMETHEE yöntemiyle akademik başarı sıralama uygulaması</b> <i>An application of CRITIC-based PROMETHEE method in academic success ranking</i>	<b>649</b>
Nichirvan Ramadhan TAHER Mesut GÖR Hüseyin Suha AKSOY Halimat Ahmed AWLLA	<b>Numerical investigation of the effect of slope angle and height on the stability of a slope composed of sandy soil</b> <i>Kumlu zeminden oluşan bir şevin stabilitesine şev açısı ve yüksekliğinin etkisinin sayısal olarak incelenmesi</i>	<b>664</b>
Zafer MAŞLAKCI	<b>Etanol, 1_propanol ve 2_propanol yapılarının su molekülü ile oluşturdukları dimer kümelerinin teorik incelenmesi</b> <i>Theoretical investigation of the dimer clusters formed by ethanol, 1_propanol and 2_propanol structures with water molecule</i>	<b>676</b>
Şeyma DUMAN Büşra BULUT	<b>Antibacterial, optical, and microstructural properties investigations of Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders</b> <i>Ag katkılı TiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub>/PVA nanokompozit tozların antibakteriyel, optik ve mikroyapısal özelliklerinin araştırılması</i>	<b>687</b>
Z. Özlem PARLAK BİÇER Nur Selcen KARAASLAN	<b>Şantiye yerleşim planı kararları üzerinden bir değerlendirme: Kayseri örneği</b> <i>An evaluation on the site layout plan decisions: Kayseri example</i>	<b>699</b>

## Subsethood measure for picture fuzzy sets and its applications on multicriteria decision making

*Görüntü bulanık kümelerde altkümelik ve çok kriterli karar vermeye uygulanması*

Ali KÖSEOĞLU\*,1,a

<sup>1</sup>Recep Tayyip Erdogan University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, 53100, Rize

• Geliş tarihi / Received: 25.07.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 27.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 16.01.2022

### Abstract

Picture fuzzy set is a direct generalization of intuitionistic fuzzy set and is therefore more capable of dealing with uncertainty while working on real life problems. The concept of inclusion is a subject that is frequently studied in family of fuzzy sets and has many applications in real life problems. Therefore, in this work, the measuring degree of inclusion between picture fuzzy sets is introduced. For this purpose, firstly axioms for subsethood measure are given and then a subsethood measure based on a distance measure for picture fuzzy sets is proposed. Then, a numerical example is provided to illustrate the applicability and usefulness of the presented measure. Finally, results are compared with the existing methods and aggregation operator to show validity of subsethood measure for PFS.

**Keywords:** MCDM, Picture fuzzy sets, Subsethood measure

### Öz

Görüntü bulanık küme, sezgisel bulanık kümenin doğrudan bir genellemesidir ve bu nedenle gerçek hayat problemleri üzerinde çalışırken belirsizlikle başa çıkma konusunda daha yeteneklidir. Kapsama kavramı, bulanık kümeler ailesinde sıklıkla çalışılan ve gerçek hayat problemlerinde birçok uygulaması olan bir konudur. Bu nedenle, bu çalışmada, görüntü bulanık kümeleri arasındaki kapsama derecesinin ölçülmesi tanıtılmıştır. Bu amaçla, önce altkümelik ölçüsü için aksiyomlar verilmiş, ardından görüntü bulanık kümeleri için uzaklık ölçüsüne dayalı bir altküme ölçüsü önerilmiştir. Sonra, verilen ölçünün uygulanabilirliğini ve kullanılabilirliğini göstermek için sayısal bir örnek verilmiştir. Son olarak, sonuçlar PFS için altkümelik ölçüsünün geçerliliğini göstermek için mevcut yöntemler ve ortalama operatörleri ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** ÇKKV, Görüntü bulanık kümeler, Altkümelik ölçüsü

\*a Ali KÖSEOĞLU; ali.koseoglu@erdogan.edu.tr, Tel: 0 464 223 62 06, orcid.org/ 0000-0002-2131-7141

## 1. Introduction

### 1. Giriş

Classic set theory is a solid branch of mathematic which forms a basis for other areas such as analysis, algebra, topology, etc. As expected, set theory starts with inclusions, intersections, unions and complements. These operations have their own duties in mathematical problems that can be applied to real life examples. One of the most important applications of these operators among many is subsethood measures. Generally, these measures are formulated with entropies or cardinalities. In classical approach, A set  $A$  is a subset of a set  $B$  if all elements in  $A$  are also in  $B$ , which is a well-known inclusion definition for many years. With the definition of fuzzy sets (Zadeh, 1965), point of view to the sets has changed. The membership function of fuzzy sets allows the degree to which an element belong to a set. In fuzzy sets, a fuzzy set  $A$  is a subset of a fuzzy set  $B$  if and only if membership degree of  $A$  is less than or equal to the membership degree of  $B$  for all elements. Thus, subsethood concept appeared for fuzzy sets (Sinha & Dougherty, 1993; Young, 1996). Fuzzy sets were generalized to intuitionistic fuzzy sets by adding a non-membership degree to the membership degree (Atanassov, 1986). Subsethood measure for IFSs was firstly introduced by Cornelis et al. (2003) based on the Sinha-Dougherty axioms in the unit square  $[0,1]^2$ . Then, Grzegorzewski and Mrowka (2004) suggested another approach for subsethood axioms with characterizing the degree of subsethood in unit interval  $[0,1]$ .

Cuong and Kreinovich (2014) introduced the picture fuzzy set (PFS) which is a direct extension of IFS. PFS has three components: degree of positive membership, degree of neutral membership and degree of negative membership where the sum of all degrees is in the interval of  $[0,1]$ . Obviously, it can deal with uncertain data more precisely in real life problems when compared to IFSs. Moreover, Cuong (2015)

proposed interval-valued PFS (IvPFS) by enhancing every membership degree to a unit interval. PFSs have many applications in real life problems. Singh (2015) presented correlation coefficients for PFS. Wei (2018) proposed some similarity measures for PFS. Wang et al. (2017) investigated some aggregation operators and applied them into decision making problems. Son (2016) generalized distance measures for PFS and applied it to picture fuzzy clustering. Lately, Thao (2020) defined similarity measures based on entropy, and Ganie et al. (2020) introduced new correlation coefficients.

Subsethood measures have many applications on family of fuzzy sets and decision-making problems. Besides the former studies about them, these measures have been applied on many real-life problems lately for many different sets in the family of fuzzy sets (Köseoğlu & Şahin, 2019; Pękala et al., 2020; Peng et al., 2017; Şahin & Küçük, 2015; Şahin et al., 2015; Zadrožny et al., 2021; Köseoğlu, 2021).

In the light of the foregoing information, the need of such studies and the efficiency of their applications are clear. As far as we know, there is no research conducted on subsethood measure of PFS. Therefore, in this work, a subsethood measure for PFSs is introduced by giving a system of axioms adapted from Young (1996) and Grzegorzewski and Mrówka (2004). In addition, normalized Hamming distance measure based on Hausdorff metric is adapted to proposed subsethood measure. Some examples are given for the subsethood measure to be well understood. Furthermore, a real-life decision-making problem is presented to show the efficiency and applicability of the proposed measure. The rest of the paper is organized as follows: In Sect. 2, some basic definitions and operations are given. In Sect. 3, a new subsethood measure for PFS is proposed. Sect. 4 covers the numerical application of subsethood measure. Finally, conclusions about proposed subsethood measure are shared in Sect. 5.

## 2. Picture fuzzy sets

### 2. Görüntü bulanık kümeler

In this section, PFSs which will be used on other sections are presented.

**Definition 1.** (Atanassov, 1986) Let  $X$  be a non-empty set, then an IFS  $A$  in  $X$  is defined as

$$A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x)) | x \in X\} \quad (1)$$

where  $\mu_A, \nu_A : X \rightarrow [0,1]$  represents the degree of membership and the degree of non-membership of the element  $x$  such that for any  $x \in X$ ,

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1. \tag{2}$$

Here,  $\pi_A = 1 - (\mu_A(x) + \nu_A(x))$  is called hesitancy degree of the element  $x$  in the set  $A$ . Moreover, the pair of  $(\mu_A(x), \nu_A(x))$  is called intuitionistic fuzzy number (IFS) and denoted as  $a = (\mu_A, \nu_A)$ .

**Definition 2.** (Cuong & Kreinovich, 2014) Let  $X$  be a universe of discourse. A PFS  $P$  in  $X$  is given by

$$P = \{(x, \mu_P(x), \eta_P(x), \nu_P(x)) | x \in X\} \tag{3}$$

where  $\mu_P(x) \in [0,1]$  is called the "degree of positive membership of  $x$  in  $P$ ",  $\eta_P(x) \in [0,1]$  is called the "degree of neutral membership of  $x$  in  $P$ ", and  $\nu_P(x) \in [0,1]$  is called the "degree of negative membership of  $x$  in  $P$ " where

$$0 \leq \mu_P(x) + \eta_P(x) + \nu_P(x) \leq 1. \tag{4}$$

The degree of refusal is  $\pi_P = 1 - (\mu_P(x) + \eta_P(x) + \nu_P(x))$ . For convenience in decision making problems, the triple  $(\mu_P(x), \eta_P(x), \nu_P(x))$  is called a Picture fuzzy number (PFN) denoted as  $p = (\mu_P, \eta_P, \nu_P)$ .

Picture fuzzy sets can express the answers to real life questions: yes, abstain, no and refusal. Voting on any condition in real life is a good example of such answers that Cuong (2015) suggested. Voters may be divided into four groups of those who vote for, abstain, vote against and refuse to vote. Moreover, PFS is reduced to IFS for  $\eta_P(x) = \emptyset$  and thus it is a direct generalization of IFS.

**Definition 3.** (Cuong & Kreinovich, 2014) Let  $X$  be a fixed set and

$$A = \{(x_i, \mu_A(x_i), \eta_A(x_i), \nu_A(x_i)) | x_i \in X\}$$

$$B = \{(x_i, \mu_B(x_i), \eta_B(x_i), \nu_B(x_i)) | x_i \in X\}$$

be two PFSs. Then, some operations on PFSs are defined as:

- 1)  $A \subseteq B \Leftrightarrow \mu_A(x_i) \leq \mu_B(x_i), \eta_A(x_i) \leq \eta_B(x_i) \text{ and } \nu_A(x_i) \geq \nu_B(x_i)$
- 2)  $A = B \Leftrightarrow A \subseteq B \text{ and } B \subseteq A$
- 3)  $A \cap B = \{(x_i, \min\{\mu_A(x_i), \mu_B(x_i)\}, \min\{\eta_A(x_i), \eta_B(x_i)\}, \max\{\nu_A(x_i), \nu_B(x_i)\})\}$
- 4)  $A \cup B = \{(x_i, \max\{\mu_A(x_i), \mu_B(x_i)\}, \min\{\eta_A(x_i), \eta_B(x_i)\}, \min\{\nu_A(x_i), \nu_B(x_i)\})\}$
- 5)  $A^c = \{(x_i, \nu_A(x_i), \eta_A(x_i), \mu_A(x_i)) | x_i \in X\}$

**Proposition 1:** The followings are valid for each PFS  $A$ :

- 1)  $(A^c)^c = A$
- 2)  $A \cap A = A$
- 3)  $A \cup A = A$

**Proposition 2:** The following equalities hold for every PFSs  $A, B,$  and  $C$ :

- 1)  $A \cup B = B \cup A$
- 2)  $A \cap B = B \cap A$
- 3)  $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$
- 4)  $(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$
- 5)  $(A \cup B) \cap C = (A \cap C) \cup (B \cap C)$
- 6)  $(A \cap B) \cup C = (A \cup C) \cap (B \cup C)$ .

**Definition 4.** (Wei, 2017) Let  $p_1 = (\mu_{P_1}, \eta_{P_1}, \nu_{P_1}), p_2 = (\mu_{P_2}, \eta_{P_2}, \nu_{P_2})$  and  $p = (\mu_P, \eta_P, \nu_P)$  be three PFNs. Then, for  $\lambda > 0$  the corresponding operations are defined as follows:



- 1)  $p_1 \oplus p_2 = (\mu_{p_1} + \mu_{p_2} - \mu_{p_1}\mu_{p_2}, \eta_{p_1}\eta_{p_2}, \nu_{p_1}\nu_{p_2})$
- 2)  $p_1 \otimes p_2 = (\mu_{p_1}\mu_{p_2}, \eta_{p_1} + \eta_{p_2} - \eta_{p_1}\eta_{p_2}, \nu_{p_1} + \nu_{p_2} - \nu_{p_1}\nu_{p_2})$
- 3)  $\lambda p = (1 - (1 - \mu_p)^\lambda, \eta_p, \nu_p)$
- 4)  $p^\lambda = (\mu_p^\lambda, 1 - (1 - \eta_p)^\lambda, 1 - (1 - \nu_p)^\lambda)$

(8)

**Definition 5.** (Wei, 2017) For any PFN  $p = (\mu_p, \nu_p)$ , the score and the accuracy functions of  $p$  are defined as

$$s(p) = \mu_p - \nu_p \text{ and } a(p) = \mu_p + \eta_p + \nu_p \tag{9}$$

where  $s(p) \in [-1,1]$  and  $a(p) \in [0,1]$ . For any PFNs  $p_1$  and  $p_2$

1. If  $s(p_1) > s(p_2)$ , then  $p_1 > p_2$ .
2. If  $s(p_1) = s(p_2)$ , then
  - i. If  $a(p_1) > a(p_2) \Rightarrow p_1 > p_2$
  - ii. If  $a(p_1) = a(p_2)$ , then  $p_1 \approx p_2$

**Definition 6.** (Wei, 2017) Let  $p_i (i = 1,2, \dots, n)$  be a collection of PFNs, then the picture fuzzy weighted averaging (PFWA) operator is a mapping  $P^n \rightarrow P$  such that

$$PFWA(p_1, p_2, \dots, p_n) = \oplus_{i=1}^n (w_i p_i)$$

which can be described as

$$PFWA(p_1, p_2, \dots, p_n) = \left( 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{p_i})^{w_i}, \prod_{i=1}^n (\eta_i)^{w_i}, \prod_{i=1}^n (\nu_i)^{w_i} \right) \tag{10}$$

where  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^\top$  is the weight vector of  $\alpha_i$  with  $w_i \in [0,1]$  and  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .

**Definition 7.** (Wei, 2017) Let  $p_i (i = 1,2, \dots, n)$  be a collection of PFNs, then the picture fuzzy weighted geometric (PFWG) operator is a mapping  $P^n \rightarrow P$  such that

$$PFWG(p_1, p_2, \dots, p_n) = \otimes_{i=1}^n (p_i^{w_i})$$

which can be written as

$$PFWG(p_1, p_2, \dots, p_n) = \left( \prod_{i=1}^n (\mu_i)^{w_i}, 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \eta_{p_i})^{w_i}, 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \nu_{p_i})^{w_i} \right) \tag{11}$$

where  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  is the weight vector of  $\alpha_i$  with  $w_i \in [0,1]$  and  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .

**Definition 8.** (Cuong & Kreinovich, 2014) Let  $A$  and  $B$  be two PFSs, then the distance between these two sets is defined as:

$$d(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)| + |\eta_A(x_i) - \eta_B(x_i)| + |\nu_A(x_i) - \nu_B(x_i)|) \tag{12}$$

### 3. Subsethood measures for picture fuzzy sets

#### 3. Görüntü bulanık kümelerde altkümelik

Firstly, Cornelis and Kerre (2003) introduced subsethood measures of IFSSs as inclusion measures and then Grzegorzewski and Mrowka (2004) proposed a different approach by characterizing the degree of subsethood by a single number from the unit interval. By generalizing this approach, we propose a Subsethood measure for picture fuzzy sets based on a distance measure.

**Definition 9.** A mapping  $S: PFS(X) \times PFS(X) \rightarrow [0,1]$  is called a picture fuzzy subsethood measure, if  $S$  satisfies the following conditions for all  $A, B, C \in PFS(X)$ :

- 1)  $0 \leq S(A, B) \leq 1$
  - 2)  $S(A, B) = 1$  iff  $A \subseteq B$
  - 3)  $S(A, B) = 0$  iff  $A = S$  and  $B = \emptyset$
  - 4) If  $A \subseteq B \subseteq C$ , then  $S(C, A) \leq S(B, A)$  and  $S(C, A) \leq S(C, B)$
- (13)

Let  $\mathcal{L}: PFS(X) \times PFS(X) \rightarrow \mathbb{R}^+ \cup \{0\}$  be a metric in the family of PFSs in  $X$ . To show the degree of belonging of set  $A$  to set  $B$ , a normalized distance measure can be applied to form an inclusion indicator by calculating distance between  $A$  and  $A \cap B$ . Let  $d: PFS(X) \times PFS(X) \rightarrow [0,1]$  is a metric for normalized distances. Then, the following a mapping:

$$S_d(A, B) = 1 - d(A, A \cap B) \tag{14}$$

is a subsethood measure based on distance for PFSs where:

$$d_H(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max\{|\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)|, |\eta_A(x_i) - \eta_B(x_i)|, |v_A(x_i) - v_B(x_i)|\} \tag{15}$$

is the normalized Hamming distance based on the Hausdorff metric between PFSs  $A$  and  $B$ . Moreover, we extend this distance measure to weighted form. Then, normalized weighted Hamming distance based on Hausdorff metric for PFS is given as

$$d_{wH}(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i (\max\{|\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)|, |\eta_A(x_i) - \eta_B(x_i)|, |v_A(x_i) - v_B(x_i)|\}) \tag{16}$$

where  $w_i$  is the weight vector with  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .

**Theorem 1.** Let  $S: PFS(X) \times PFS(X) \rightarrow [0,1]$  be a mapping such that

$$S(A, B) = 1 - d_H(A, A \cap B) \tag{17}$$

where  $d_H$  is a normalized Hamming distance based on the Hausdorff metric between PFSs. Then,  $S(A, B)$  is a subsethood measure indicating the degree to which  $B$  contains  $A$ .

**Proof.** Let  $A = \{(x_i, \mu_A(x_i), \eta_A(x_i), v_A(x_i)) | x_i \in X\}$ ,  $B = \{(x_i, \mu_B(x_i), \eta_B(x_i), v_B(x_i)) | x_i \in X\}$  and  $C = \{(x_i, \mu_C(x_i), \eta_C(x_i), v_C(x_i)) | x_i \in X\}$  be three PFSs.

1. It is clear from the definition of distance measures.
2. Using item 1 and 3 from Eq. (5), we have  $S(A, B) = 1$

$$\begin{aligned} &\Leftrightarrow 1 - d(A, A \cap B) = 1 \Leftrightarrow d(A, A \cap B) \\ &\Leftrightarrow \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max\left\{ \begin{array}{l} |\mu_A(x_i) - \min\{\mu_A(x_i), \mu_B(x_i)\}|, |\eta_A(x_i) - \min\{\eta_A(x_i), \eta_B(x_i)\}|, \\ |v_A(x_i) - \max\{v_A(x_i), v_B(x_i)\}| \end{array} \right\} = 0 \\ &\Leftrightarrow \mu_A(x_i) \leq \mu_B(x_i), \eta_A(x_i) \leq \eta_B(x_i) \text{ and } v_A(x_i) \geq v_B(x_i) \\ &\Leftrightarrow A \subseteq B \end{aligned}$$

3. Same as above, it is straightforward.
4. To prove  $S(C, A) \leq S(B, A)$ , we need to show  $d_H(B, B \cap A) \leq d_H(C, C \cap A)$ . From Eq. (15) we have

$$d_H(B, B \cap A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max \left\{ \begin{array}{l} |\mu_B(x_i) - \min\{\mu_B(x_i), \mu_A(x_i)\}|, |\eta_B(x_i) - \min\{\eta_B(x_i), \eta_A(x_i)\}|, \\ |v_B(x_i) - \max\{v_B(x_i), v_A(x_i)\}| \end{array} \right\}$$

Since  $A \subseteq B$ , we have

$$= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max\{|\mu_B(x_i) - \mu_A(x_i)|, |\eta_B(x_i) - \eta_A(x_i)|, |v_B(x_i) - v_A(x_i)|\}$$

Since  $B \subseteq C$ , we obtain

$$\begin{aligned} &\leq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max\{|\mu_C(x_i) - \mu_A(x_i)|, |\eta_C(x_i) - \eta_A(x_i)|, |v_C(x_i) - v_A(x_i)|\} \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max \left\{ \begin{array}{l} |\mu_C(x_i) - \min\{\mu_C(x_i), \mu_A(x_i)\}|, |\eta_C(x_i) - \min\{\eta_C(x_i), \eta_A(x_i)\}|, \\ |v_C(x_i) - \max\{v_C(x_i), v_A(x_i)\}| \end{array} \right\} \\ &= d_H(C, C \cap A) \end{aligned}$$

Then  $S(C, A) \leq S(B, A)$  and it completes the proof. Similarly,  $S(C, A) \leq S(C, B)$  can be shown easily.

**Example 1.** Let  $A = \{\langle x_1, 0.3, 0.4, 0.3 \rangle, \langle x_2, 0.5, 0.1, 0.3 \rangle\}$  and  $B = \{\langle x_1, 0.4, 0.5, 0.1 \rangle, \langle x_2, 0.6, 0.2, 0.1 \rangle\}$  be two PFSs. Then,  $S(A, B) = 1$  and  $S(B, A) = 0$ , which is consistent with Cuong and Kreinovich’s subset definition.

**Example 2.** Let  $A = \{\langle x_1, 1, 0, 0 \rangle, \langle x_2, 0.6, 0.2, 0.2 \rangle\}$  and  $B = \{\langle x_1, 0, 0, 1 \rangle, \langle x_2, 0.3, 0.3, 0.1 \rangle\}$  be two PFSs. Then,  $S(A, B) = 0,35$  and  $S(B, A) = 0,95$ . Clearly, either  $A \subset B$  or  $B \subset A$ . But from subsethood measures, we can say that  $B$  is much more a subset of  $A$ .

**Algorithm 1.** Picture Fuzzy Subsethooding

**Input:** A set of PFSs  $\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$

**Steps:**

- 1) Construct a decision matrix from given sets.
- 2) Determine an ideal point  $A^*$ .
- 3) Find the intersections of  $A^* \cap A_i$  for each alternative using Eq. (5).
- 4) **Do**
  - If** weights are given, **then**
  - 5)  $S_i(A^*, A_i) = 1 - d_{wH}(A^*, A^* \cap A_i)$  using Eq. (16)
  - Else**
  - 6)  $S_i(A^*, A_i) = 1 - d_H(A^*, A^* \cap A_i)$  using Eq. (15)
  - End**
- 7) **Until**  $i = m$

**Output:** Ranking of alternatives.

**4. Multicriteria decision making**

*4. Çok kriterli karar verme*

In order to demonstrate the application of the proposed subsethood measure, a multicriteria decision making method is applied adapted from Ye (2010). All MCDM methods are based on choosing the best possible alternative by taking into consideration the criteria. For convenience in following section, let  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$  be a set of alternatives,  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  be a set of

criteria and  $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]$  be a weight vector with respect to criteria where  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$  and  $w_j \geq 0$ . In decision making, concept of ideal point is frequently used to obtain the best possible alternative. Ye (2010) gave the ideal alternative  $A^*$  as IFN. For the ranking order of the alternatives according to the decision-making problem, the ideal alternative is given as “excellence”, and thus it is adapted to this example as  $A^* = (1,0,0)$  since PFS is a generalization of IFS.

Suppose there is an investment company, which wants to invest a sum of money in the best option. There is a panel with four possible alternatives to invest the money:

- $A_1$ : car company
- $A_2$ : food company
- $A_3$ : computer company
- $A_4$ : arms company

The investment company considers the following three criteria to decide:

- $C_1$ : risk analysis
- $C_2$ : growth analysis
- $C_3$ : environmental impact analysis

The weights of criteria are determined by the tourist group as  $w = [0.3560, 0.3613, 0.2827]$ .

The decision matrix  $A$  is constructed as Table 1 according to their preferences with respect to criteria. The calculations are performed in MATLAB.

**Table 1.** Decision matrix  $A$   
*Tablo 1. A Karar matrisi*

	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$A_1$	$\langle 0.45, 0.15, 0.35 \rangle$	$\langle 0.50, 0.10, 0.30 \rangle$	$\langle 0.20, 0.05, 0.55 \rangle$
$A_2$	$\langle 0.65, 0.05, 0.25 \rangle$	$\langle 0.65, 0.10, 0.25 \rangle$	$\langle 0.55, 0.15, 0.15 \rangle$
$A_3$	$\langle 0.45, 0.20, 0.35 \rangle$	$\langle 0.55, 0.05, 0.35 \rangle$	$\langle 0.55, 0.10, 0.20 \rangle$
$A_4$	$\langle 0.75, 0.10, 0.15 \rangle$	$\langle 0.65, 0.05, 0.20 \rangle$	$\langle 0.35, 0.30, 0.15 \rangle$

Taking  $A^* = (1,0,0)$  is the ideal alternative, subsethood measure of each alternative is calculated using Eq. (17) as:

$$\begin{aligned}
 S(A^*, A_1) &= 0.3974 \\
 S(A^*, A_2) &= 0.6217 \\
 S(A^*, A_3) &= 0.5144 \\
 S(A^*, A_4) &= 0.6008
 \end{aligned}$$

Then, the ranking forms as  $A_2 > A_4 > A_3 > A_1$ . It implies that  $A^*$  is much more subset of  $A_2$ . Therefore,  $A_2$  (the food company) is the best option to invest. Furthermore, it is consistent with the Ye (2010)'s outputs. These results show that subsethood measure is much simpler and computationally easier than the other similarity measures.

**4.1. Comparison of results**

*4.1. Sonuçların karşılaştırması*

In order to compare this result with the existing aggregation operators given in Eq. (10) and Eq.

(11), an analysis is conducted to calculate results with score function given in Eq. (9). Using Table 1, first PFWA operator is used to aggregate the decision matrix and then score function is used to rank the alternatives. Same operations are conducted for PFWG operator. The results are given as follow:

- i. If PFWA operator is applied to decision matrix  $A$ , aggregated values are evaluated as:

$$PFWA(A) = \begin{bmatrix} \langle 0.4092, 0.0950, 0.3762 \rangle \\ \langle 0.6242, 0.0876, 0.2164 \rangle \\ \langle 0.5167, 0.0996, 0.2988 \rangle \\ \langle 0.6301, 0.1062, 0.1664 \rangle \end{bmatrix}$$

Then, the score values are obtained as:

$$s(PFWA(A)) = [0.0331 \quad 0.4078 \quad 0.2179 \quad 0.4637]$$

According to score values, ranking of the alternatives is ordered as

$$A_4 > A_2 > A_3 > A_1$$

Then,  $A_4$  (the arms company) is the best option to invest.

- ii. If PFWG operator is applied to decision matrix  $A$ , aggregated values are evaluated as:

$$PFWA(A) = \begin{bmatrix} \langle 0.3717, 0.1045, 0.3983 \rangle \\ \langle 0.6200, 0.0972, 0.2230 \rangle \\ \langle 0.5121, 0.1199, 0.3107 \rangle \\ \langle 0.5742, 0.1452, 0.1684 \rangle \end{bmatrix}$$

Then, the score values are obtained as:

$$s(PFWG(A)) = [-0.0266 \quad 0.3970 \quad 0.2014 \quad 0.4057]$$

According to score values, ranking of the alternatives is ordered as

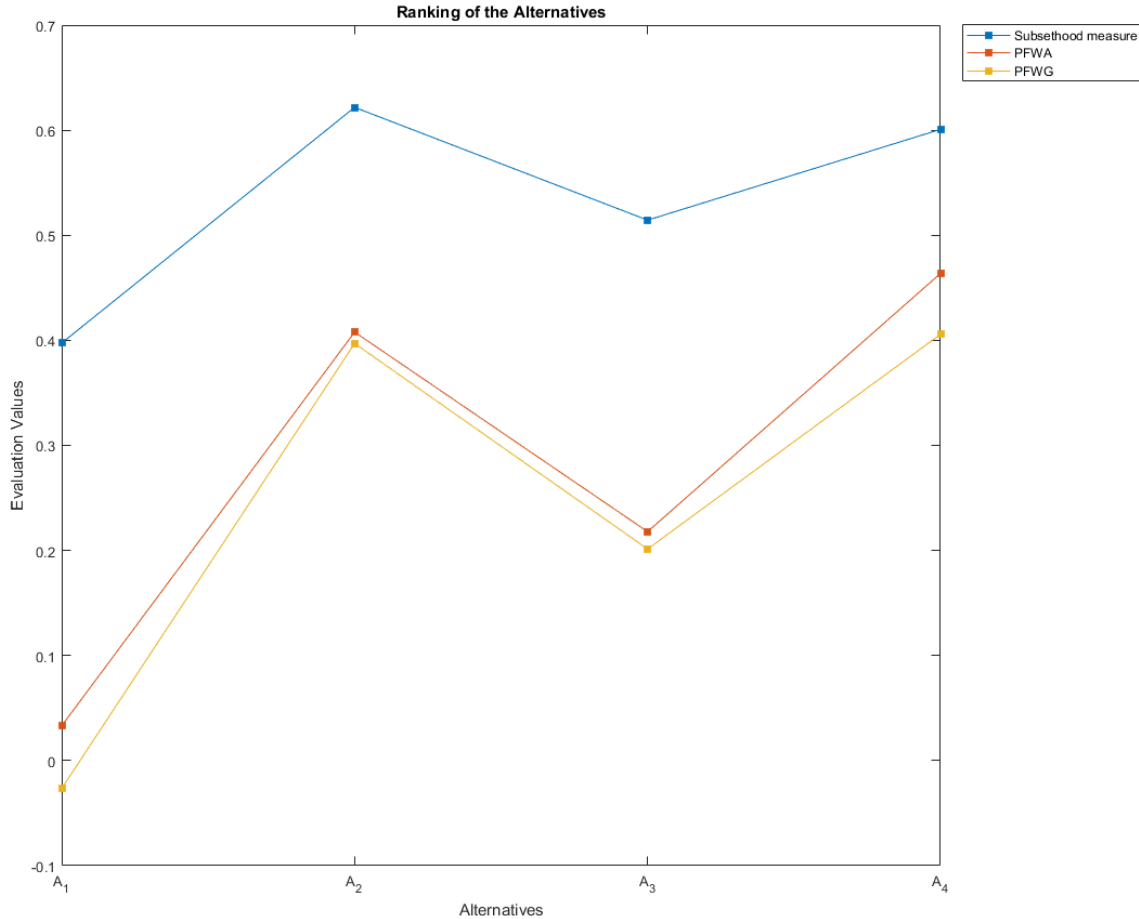
$$A_4 > A_2 > A_3 > A_1$$

Then,  $A_4$  (the arms company) is the best option to invest.

As can be seen in the Figure 1 and Table 2, ranking changes when subsethood measure is performed. Moreover, the ranking order for subsethood measure is in the agreement with the one Ye (2010) obtained. Both the change in the order for aggregation operators and the same as Ye's results show the effect and the stability of the proposed measure.

**Table 2.** Ranking comparison  
**Tablo 2.** Sıralama karşılaştırması

Methods	Rankings
Subsethood Measure	$A_2 > A_4 > A_3 > A_1$
PFWA Operator	$A_4 > A_2 > A_3 > A_1$
PFWG Operator	$A_4 > A_2 > A_3 > A_1$
Ye (2010)'s Measure	$A_2 > A_4 > A_3 > A_1$



**Figure 1.** Ranking comparison of the alternatives with Subsethood measure, PFWA and PFWG.

**Şekil 1.** Alternatiflerin Altkümelik ölçüsü, PFWA ve PFWG'ye göre sıralamalarının karşılaştırılması.

**5. Conclusion**

*5. Sonuç*

In this study, a subsethood measure of PFS is proposed to show the degree of belonging of set A to set B. To make it practical, normalized Hamming distance based on the Hausdorff metric between PFSs A and B is implemented to subsethood measure. Then, this measure is applied to a real life problem adapted from Ye (2010). Moreover, the same example is performed with PFWA and PFWG aggregation operators with score functions. Later, all the results are compared with the Ye (2010)'s findings. It is shown that the proposed subsethood measure is consistent with Ye's results and has a small difference in the ranking when compared to aggregation operators.

The fact that the results of the proposed method are the same with the results Ye obtained shows the consistency of the method, and the fact that it is different from that obtained by aggregation operators shows the effect of the method. Furthermore, when compared to other similarity measures in the literature, the proposed method comes into prominence with its simplicity and practicability. In future studies, entropy measures for PFSs can be applied to develop new subsethood measures.

**Author contribution**

*Yazar katkısı*

All authors contributed equally to the study.

**Declaration of ethical code***Etik beyanı*

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require any ethical committee approval and/or legal-specific permission.

**Conflicts of interest***Çıkar çatışması beyanı*

The authors declare that there is no conflict of interest.

**References***Kaynaklar*

- Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87–96.
- Cornelis, C., & Kerre, E. (2003). Inclusion measures in intuitionistic fuzzy set theory. *Lecture Notes in Artificial Intelligence (Subseries of Lecture Notes in Computer Science)*, 2711, 345–356. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-45062-7\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-540-45062-7_28)
- Cornelis, C., Van der Donck, C., & Kerre, E. (2003). Sinha-Dougherty approach to the fuzzification of set inclusion revisited. *Fuzzy Sets and Systems*, 134(2), 283–295. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(02\)00225-7](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(02)00225-7)
- Cường, B. C. (2015). Picture fuzzy sets. *Journal of Computer Science and Cybernetics*, 30(4), 409–420. <https://doi.org/10.15625/1813-9663/30/4/5032>
- Cuong, B. C., & Kreinovich, V. (2014). Picture fuzzy sets - A new concept for computational intelligence problems. *2013 3rd World Congress on Information and Communication Technologies, WICT 2013*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/WICT.2013.7113099>
- Ganie, A. H., Singh, S., & Bhatia, P. K. (2020). Some new correlation coefficients of picture fuzzy sets with applications. *Neural Computing and Applications*, 32(16), 12609–12625. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-04715-y>
- Grzegorzewski, P., & Mrówka, E. (2004). Subsethood measure for intuitionistic fuzzy sets. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 1*, 139–142. <https://doi.org/10.1109/fuzzy.2004.1375704>
- Köseoğlu, A. (2021). Tourism Management Application in Pythagorean Fuzzy Sets with COPRAS Method. *7th Ifs and Contemporary Mathematics Conference*, 197–208.
- Köseoğlu, A., & Şahin, R. (2019). An Intuitionistic Multiplicative TOPSIS Method for a Supplier Selection Problem. *3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET'19)*, 1076–1082.
- Pekala, B., Bentkowska, U., Sesma-Sara, M., Fernandez, J., Lafuente, J., Altalhi, A., Knap, M., Bustince, H., & Pintor, J. M. (2020). Interval subsethood measures with respect to uncertainty for the interval-valued fuzzy setting. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 13(1), 167–177. <https://doi.org/10.2991/ijcis.d.200204.001>
- Peng, X., Yuan, H., & Yang, Y. (2017). Pythagorean Fuzzy Information Measures and Their Applications. *International Journal of Intelligent Systems*, 32(10), 991–1029. <https://doi.org/10.1002/int.21880>
- Şahin, R., & Küçük, A. (2015). Subsethood measure for single valued neutrosophic sets. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 29(2), 525–530. <https://doi.org/10.3233/IFS-141304>
- Şahin, R., Karabacak, M., Sahin, R., & Karabacak, M. (2015). A multi attribute decision making method based on inclusion measure for interval neutrosophic sets. *International Journal of Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics*, 2(2), 13–15. [www.ijeas.org](http://www.ijeas.org)
- Singh, P. (2015). Correlation coefficients for picture fuzzy sets. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 28(2), 591–604. <https://doi.org/10.3233/IFS-141338>
- Sinha, D., & Dougherty, E. R. (1993). Fuzzification of set inclusion: Theory and applications. *Fuzzy Sets and Systems*, 55(1), 15–42. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(93\)90299-W](https://doi.org/10.1016/0165-0114(93)90299-W)
- Son, L. H. (2016). Generalized picture distance measure and applications to picture fuzzy clustering. *Applied Soft Computing Journal*, 46(C), 284–295. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.05.009>
- Thao, N. X. (2020). Similarity measures of picture fuzzy sets based on entropy and their application in MCDM. *Pattern Analysis and Applications*, 23(3), 1203–1213. <https://doi.org/10.1007/s10044-019-00861-9>
- Wang, C., Zhou, X., Tu, H., & Tao, S. (2017). Some geometric aggregation operators based on picture fuzzy sets and their application in multiple attribute decision making. *Italian Journal of Pure and Applied Mathematics*, 37(37), 477–492.
- Wei, G. (2017). Picture fuzzy aggregation operators and their application to multiple attribute decision making. *Journal of Intelligent and Fuzzy*

- Systems*, 33(2), 713–724.  
<https://doi.org/10.3233/JIFS-161798>
- Wei, G. (2018). Some similarity measures for picture fuzzy sets and their applications. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 15(1), 77–89.  
<https://doi.org/10.22111/ijfs.2018.3579>
- Ye, J. (2010). Fuzzy decision-making method based on the weighted correlation coefficient under intuitionistic fuzzy environment. *European Journal of Operational Research*, 205(1), 202–204. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.01.019>
- Young, V. R. (1996). Fuzzy subsethood. *Fuzzy Sets and Systems*, 77(3), 371–384.  
[https://doi.org/10.1016/0165-0114\(95\)00045-3](https://doi.org/10.1016/0165-0114(95)00045-3)
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001999586590241X>
- Zadrożny, S., Kacprzyk, J., Gajewski, M., & De Tré, G. (2021). On the Use of Fuzzy Sets Weighted Subsethood Indicators in a Text Categorization Problem. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1081 AISC, 341–362.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-47024-1\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-030-47024-1_33)

## Geometrik hesap tarzına göre Lebesgue dizi uzaylarının bazı geometrik özellikleri

*Some geometric properties of Lebesgue sequence spaces according to geometric calculation style*

**Birsen SAĞIR\*<sup>1,a</sup>, İrem EYÜPOĞLU<sup>1,b</sup>**

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 55200, Samsun

• Geliş tarihi / Received: 03.11.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 23.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 16.01.2022

### Öz

Bu çalışmada, geometrik hesap tarzına göre Lebesgue dizi uzayı tanımlandı. İhtiyaç duyulan bazı eşitsizlikler geometrik hesap tarzına göre elde edildi. Bu eşitsizlikler yardımıyla geometrik hesap tarzına göre Lebesgue dizi uzayının konvekslik, kesin konvekslik gibi bazı geometrik özellikleri incelendi.

**Anahtar kelimeler:** Geometrik hesap tarzı, Kesin konvekslik, Konvekslik, Lebesgue dizi uzayları, Newtonyen olmayan hesap tarzı

### Abstract

In this study the Lebesgue sequence space was defined according to geometric calculation style with the help of these inequalities, some geometric properties such as convexity and strictly convexity of Lebesgue sequence space were examined according to the geometric calculation style.

**Keywords:** Geometric calculation style, Strictly convexity, Convexity, Lebesgue sequence spaces, Non-Newtonian calculation style

\*a Birsen SAĞIR; bduyar@omu.edu.tr, Tel: (0533) 365 86 84, orcid.org/0000-0001-5954-2005

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-3008-2249



## 1. Giriş

### 1. Introduction

Rönesans döneminde Galileo dâhil birçok bilim adamı klasik hesap tarzı dışında yeni bir hesap tarzı olan Newtonyen olmayan hesap tarzını ortaya koymuşlardır. Klasik hesap tarzındaki her bir özelliğin, Newtonyen olmayan hesap tarzında bir benzeri vardır ve bu hesap tarzında araştırılabilecek sorunlara farklı bir bakış açısı sağlayan bir yöntemdir. 1967'den 1972'ye kadar olan dönemde Grossman ve Katz, klasik, geometrik, bigeometrik ve kuadratik hesap sınıflarından oluşan Newtonyen olmayan hesap tarzını tanıtmışlardır. Daha sonraları bu kavramları Grossman genişletmiştir. Newtonyen olmayan hesap tarzı fen bilimleri, ekonomi, finans, matematik gibi birçok alanda kullanılmıştır. Çarpımsal kompleks kalkülüste türev ve uygulamaları (Bashirov & Rıza 2011), geometrik dizi uzayları (Türkmen & Başar 2012),

Newtonyen olmayan dizi uzayları üzerinde çalışmalar yapılmıştır (Çakmak & Başar 2012). Newtonyen olmayan kalkülüste bazı temel topolojik özellikleri elde edilmiştir (örneğin Duyar vd., 2015; Binbaşıoğlu vd., 2015; Duyar & Oğur 2017). Newtonyen olmayan kalkülüste Lebesgue ölçüsünü (Duyar & Sağır 2017), kapalı kümelerin Newtonyen olmayan ölçüsünü (Oğur & Demir 2019) ve Newtonyen olmayan kümelerin Lebesgue anlamında ölçüsünü incelemiştirler (Oğur & Demir 2020).  $L_w^p(G)$  ağırlıklı Lebesgue uzayının bazı geometrik özelliklerini (Oğur 2018) ve Newtonyen olmayan  $L_p(N)$  dizi uzayının bazı geometrik özelliklerini ele alınmıştır (Güngör 2020).

Newtonyen olmayan hesap tarzının bir alanı olan geometrik hesap tarzı Newton ve Leibniz'in klasik hesap tarzına bir alternatiftir.

$$\begin{array}{ccc} \alpha: \mathbb{R} & \rightarrow & \mathbb{R}^+ \\ s & \rightarrow & \alpha(s) = e^s = t \end{array} \qquad \begin{array}{ccc} \alpha^{-1}: \mathbb{R}^+ & \rightarrow & \mathbb{R} \\ t & \rightarrow & \alpha^{-1}(t) = \ln t = s \end{array}$$

olmak üzere,  $\alpha$  doğal logaritma üretici kullanılarak geometrik hesap tarzı (geometrik aritmetik) elde edilir (Gurefe vd., 2016).

**Tanım 1.1 :**  $\{e^s: s \in \mathbb{R}\}$  kümesine geometrik aritmetikteki reel sayılar kümesi denir ve  $\mathbb{R}_G$  (veya  $\mathbb{R}(G)$ ) ile gösterilir.  $\mathbb{R}_G^+ = \{s \in \mathbb{R}(G): s > 1\}$  ve  $\mathbb{R}_G^- = \{s \in \mathbb{R}(G): s < 1\}$  sırasıyla geometrik pozitif ve negatif reel sayıların kümesidir.  $\mathbb{R}_G$  üzerinde tanımlanan

$$\begin{array}{l} \oplus: \mathbb{R}_G \times \mathbb{R}_G \rightarrow \mathbb{R}_G, \\ (s, t) \rightarrow s \oplus t = \alpha\{\alpha^{-1}(s) + \alpha^{-1}(t)\} = s \cdot t \end{array}$$

toplama işlemi ve

$$\begin{array}{l} \odot: \mathbb{R}_G \times \mathbb{R}_G \rightarrow \mathbb{R}_G, \\ (s, t) \rightarrow s \odot t = \alpha\{\alpha^{-1}(s) \times \alpha^{-1}(t)\} = s^{\ln t} \end{array}$$

çarpma işlemlerine göre  $(\mathbb{R}(G), \oplus, \odot)$  bir cisimdir.

$$\begin{array}{l} s \oplus t = \alpha\{\alpha^{-1}(s) + \alpha^{-1}(t)\} = e^{(\ln s + \ln t)} = s \cdot t \\ s \ominus t = \alpha\{\alpha^{-1}(s) - \alpha^{-1}(t)\} = e^{(\ln s - \ln t)} = \frac{s}{t}, t \neq 0 \\ s \odot t = \alpha\{\alpha^{-1}(s) \times \alpha^{-1}(t)\} = e^{(\ln s \times \ln t)} = s^{\ln t} \\ s \oslash t = \alpha\{\alpha^{-1}(s) / \alpha^{-1}(t)\} = e^{(\ln s \div \ln t)} = s^{\frac{1}{\ln t}}, t \neq 1 \\ s < t \Leftrightarrow \alpha^{-1}(s) < \alpha^{-1}(t) \Leftrightarrow \ln s < \ln t \end{array}$$

işlemlerine sırasıyla geometrik toplam, geometrik fark, geometrik çarpım, geometrik bölüm ve geometrik sıralama denir (Boruah, 2017).

Geometrik aritmetikteki çarpma işlemine göre aşağıdaki lemma verilmiştir.

**Önerme 1.1:**  $a, b \in \mathbb{R}_G$  olmak üzere aşağıdaki eşitsizlikler vardır (Boruah, 2017):

- i)  $a/b \odot c/d = b/a \odot d/c$
- ii)  $(a/b) \odot c = (a \odot c) / (b \odot c)$
- iii)  $a^{-1_G} = e^{(1/\log a)}$ .

**Tanım 1.2:**  $\mathbb{R}_G$  kümesindeki bir  $s$  sayısının geometrik karesi  $s^{2G} = s \odot s$  ile, geometrik karekökü de geometrik karesi  $s$  ye eşit olan  $w$  negatif olmayan sayı yani  $w = \alpha \left\{ \sqrt{\alpha^{-1}(s)} \right\} = e^{\sqrt{\ln s}} = \sqrt[G]{s} \Rightarrow w^{2G} = s$  ile,  $p$ . çarpımsal üssü ve  $q$ . çarpımsal kökü sırasıyla  $s^{pG} = s^{(p-1)G} \odot s = e^{\ln^p s} = s^{\ln^{p-1} s}$  ve  $\sqrt[q]{s^G} = \alpha \left\{ \sqrt[q]{\alpha^{-1}(s)} \right\} = e^{(\ln s)^{1/q}}$  ile tanımlanır. (Gurefe vd., 2016)

$\mathbb{R}_G$  kümesindeki bir  $x$  sayısının geometrik- mutlak değeri

$$|x|_G = \begin{cases} x, & x > 1 \\ 1, & x = 1 \\ \frac{1}{x}, & x < 1 \end{cases} \quad \text{veya} \quad e^{|y|} = |e^y|_G = \begin{cases} e^y, & e^y > e^0 = 1 \\ 1, & e^y = e^0 \\ e^{-y}, & e^y < e^0 \end{cases}$$

ile tanımlanır ve  $\sqrt{x^{2G}} = \alpha(|\alpha^{-1}(x)|) = |x|_G = e^{|\ln x|}$  ile gösterilir.

Geometrik hesap tarzına göre mutlak değerın bazı özellikleri aşağıdaki önermede verilmiştir.

**Önerme 1.2 :**  $s, t \in \mathbb{R}_G$  olmak üzere aşağıdaki ifadeler doğrudur (Boruah, 2017):

- 1)  $|s \odot t|_G = |s|_G \odot |t|_G$
- 2)  $|s \oplus t|_G \leq |s|_G \oplus |t|_G$
- 3)  $|s \otimes t|_G = |s|_G \otimes |t|_G$
- 4)  $|s \ominus t|_G \geq |s|_G \ominus |t|_G$ .

**Tanım 1.3:**  $X, \mathbb{R}_G$  geometrik reel cisim üzerinde vektör uzayı ve  $C \subset X$  olsun. Her  $x, y \in C$  ve  $\lambda \in (1, e)$  için  $\lambda \odot x \oplus (e \ominus \lambda) \odot y \in C$  ise  $C$  kümesine geometrik konveks küme denir (Güngör, 2020).

**Tanım 1.4:**  $X$  geometrik Banach uzayı olsun. Eğer  $x, y \in S_X = \{x \in X \mid \|x\|_G = e\}$  ve  $x \neq y$  olmak üzere  $\lambda \in (1, e)$  için  $\|\lambda \odot x \oplus (e \ominus \lambda) \odot y\|_G < e$  ise  $X$  kümesine geometrik kesin konveks denir (Güngör, 2020).

## 2. Bulgular

### 2. Results

$\mathbb{R}_G$  terimli tüm dizilerin kümesi  $s(G) = \{s = s_n \mid s: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{R}_G\}$  ile gösterilir.  $\alpha = \exp$  olduğundan  $s(G) = \{e^{x_n} : x_n \in \mathbb{R}, n \in \mathbb{N}\}$  ile elde edilir.  $l_\infty(G), c(G), c_0(G)$  ve  $l_p(G)$  dizi uzayları aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\begin{aligned} l_\infty(G) &= \left\{ x = (x_k) \in s(G) : \sup_{Gk \in \mathbb{N}} |x_k|_G < \infty \right\} \\ &= \left\{ x = (e^{x_k}) : x_k \in \mathbb{R}, \sup_{e^{k \in \mathbb{N}}} |x_k| < \infty \right\} \\ c_0(G) &= \left\{ x = (x_k) \in s(G) : \lim_{Gk \rightarrow \infty} x_k = 1 \right\} \\ &= \left\{ x = (e^{x_k}) : x_k \in \mathbb{R}, \lim_{e^{k \rightarrow \infty}} x_k = e^0 \right\} \\ l_p(G) &= \left\{ x = (x_k) \in s(G) : \sum_{Gk=1}^n |x_k|_G^{pG} < \infty \right\} \\ &= \left\{ x = (e^{x_k}) : x_k \in \mathbb{R}, e^{\sum_{k=1}^n |x_k|^p} < \infty \right\} \end{aligned}$$

Bu uzaylar geometrik aritmetiğin  $\oplus, \odot$  işlemlerine göre birer vektör uzayıdır.

**Tanım 2.1 :**  $(x_k) \in s(G)$  olmak üzere

$$\sum_{Gk=1}^{\infty} x_k = \alpha \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \alpha^{-1}(x_k) \right\} = \alpha \{ \alpha^{-1}(x_1) + \alpha^{-1}(x_2) + \dots + \alpha^{-1}(x_k) + \dots \}$$

$$= e^{\{\ln x_1 + \ln x_2 + \dots\}} = \prod_{k=1}^{\infty} x_k$$

toplamı geometrik hesap tarzına göre geometrik reel sayı serisi denir (Gurefe vd., 2016).

**Tanım 2.2 :**  $\|\cdot\|_G: X \rightarrow \mathbb{R}^+(G)$  fonksiyonu aşağıda verilen özellikleri sağlıyorsa,  $(X, \|\cdot\|_G)$  uzayına geometrik normlu uzay denir.

- (GN1) Her  $s \in X$  için  $\|s\|_G = 1 \Leftrightarrow s = \theta_G = 1$
- (GN2) Her  $s \in X$  ve  $\alpha \in \mathbb{R}(G)$  için  $\|\alpha s\|_G = |\alpha|_G \odot \|s\|_G$
- (GN3) Her  $s, t \in X$  için  $\|s \oplus t\|_G \leq \|s\|_G \oplus \|t\|_G$

**Teorem 2.3 (Geometrik Hesap tarzına göre  $p \geq 1$  için Minkowski Eşitsizliği) :**  $p \geq 1$  ve

$k \in \{1, 2, \dots, n\}$  için  $x_k, y_k \in \mathbb{R}_G$  olsun. O zaman

$$\sqrt[p]{\sum_{Gk=1}^n |x_k \oplus y_k|_G^{pG}} \leq \sqrt[p]{\sum_{Gk=1}^n |x_k|_G^{pG}} \oplus \sqrt[p]{\sum_{Gk=1}^n |y_k|_G^{pG}}$$

dır (Gurefe vd., 2016).

**İspat :**  $p \geq 1$  ve  $k \in \{1, 2, \dots, n\}$  olsun.  $a_k, b_k \in \mathbb{R}$  olmak üzere  $x_k = e^{a_k}, y_k = e^{b_k}$  olacak şekilde  $x_k, y_k \in \mathbb{R}_G$  olsun. O halde

$$\begin{aligned} \sqrt[p]{\sum_{Gk=1}^n |x_k \oplus y_k|_G^{pG}} &= e \left[ \ln \sum_{Gk=1}^n |x_k \oplus y_k|_G^{pG} \right]^{(1/p)} \\ &= e \left[ \ln \prod_{k=1}^n |x_k \cdot y_k|^{\ln^{p-1} |x_k \cdot y_k|} \right]^{(1/p)} \\ &= e \left[ \ln \prod_{k=1}^n |e^{a_k} \cdot e^{b_k}|^{\ln^{p-1} |e^{a_k} \cdot e^{b_k}|} \right]^{(1/p)} \\ &= e \left[ \ln \prod_{k=1}^n |e^{a_k + b_k}|^{\ln^{p-1} |e^{a_k + b_k}|} \right]^{(1/p)} \\ &= e \left[ \ln \prod_{k=1}^n (e^{|a_k + b_k|})^{|a_k + b_k|^{p-1}} \right]^{(1/p)} \\ &= e \left[ \ln \prod_{k=1}^n e^{|a_k + b_k|^p} \right]^{(1/p)} \\ &= e \left[ \ln e^{\sum_{k=1}^n |a_k + b_k|^p} \right]^{(1/p)} \\ &= e \left[ \sum_{k=1}^n |a_k + b_k|^p \right]^{(1/p)} \\ &\leq e \left( \sum_{k=1}^n |a_k|^p \right)^{(1/p)} + \left( \sum_{k=1}^n |b_k|^p \right)^{(1/p)} \\ &= e \left( \sum_{k=1}^n |a_k|^p \right)^{(1/p)} e \left( \sum_{k=1}^n |b_k|^p \right)^{(1/p)} \\ &= e \left( \ln e^{\sum_{k=1}^n |a_k|^p} \right)^{(1/p)} e \left( \ln e^{\sum_{k=1}^n |b_k|^p} \right)^{(1/p)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= e^{\left(\ln \prod_{k=1}^n e^{|a_k|^p}\right)^{(1/p)} e^{\left(\ln \prod_{k=1}^n e^{|b_k|^p}\right)^{(1/p)}} \\
 &= e^{\left(\ln \prod_{k=1}^n e^{|a_k| \ln^{p-1} e^{|a_k|}}\right)^{(1/p)} e^{\left(\ln \prod_{k=1}^n e^{|b_k| \ln^{p-1} e^{|b_k|}}\right)^{(1/p)}} \\
 &= \sqrt[p]{\sum_{Gk=1}^n |x_k|^{p_G}} \oplus \sqrt[p]{\sum_{Gk=1}^n |y_k|^{p_G}}
 \end{aligned}$$

elde edilir.

**Theorem 2.4 (Geometrik Hesap Tarzına Göre  $p \in (0, 1)$  için Minkowski Eşitsizliği):**

$p \in (0,1)$ ,  $k \in \mathbb{N}$ ,  $x = (x_k), y = (y_k) \in s(G)$  olsun. O halde

$$\sqrt[p]{\sum_{Gk=1}^{\infty} |x_k \oplus y_k|^{p_G}} \geq \sqrt[p]{\sum_{Gk=1}^{\infty} |x_k|^{p_G}} \oplus \sqrt[p]{\sum_{Gk=1}^{\infty} |y_k|^{p_G}}$$

dır.

**İspat :**  $p \in (0,1)$ ,  $k \in \mathbb{N}$  olsun.  $a_k, b_k \in \mathbb{R}$  olmak üzere  $x_k = e^{a_k}, y_k = e^{b_k}$  olacak şekilde  $x = (x_k), y = (y_k) \in s(G)$  olsun.

$$\begin{aligned}
 \sqrt[p]{\sum_{Gk=1}^{\infty} |x_k \oplus y_k|^{p_G}} &= e^{\left[\ln \prod_{k=1}^{\infty} |x_k \oplus y_k|^{p_G}\right]^{(1/p)}} \\
 &= e^{\left[\ln \prod_{k=1}^{\infty} |x_k \cdot y_k|^{p_G}\right]^{(1/p)}} \\
 &= e^{\left[\ln \prod_{k=1}^{\infty} |x_k \cdot y_k| \ln^{p-1} |x_k \cdot y_k|\right]^{(1/p)}} \\
 &= e^{\left[\ln \prod_{k=1}^{\infty} e^{|a_k+b_k| \ln^{p-1} e^{|a_k+b_k|}}\right]^{(1/p)}} \\
 &= e^{\left[\ln \prod_{k=1}^{\infty} e^{|a_k+b_k|^p}\right]^{(1/p)}} \\
 &= e^{\left[\ln e^{\sum_{k=1}^{\infty} |a_k+b_k|^p}\right]^{(1/p)}} \\
 &= e^{\left[\sum_{k=1}^{\infty} |a_k+b_k|^p\right]^{(1/p)}} \\
 &\geq e^{\left(\sum_{k=1}^{\infty} |a_k|^p\right)^{(1/p)} + \left(\sum_{k=1}^{\infty} |b_k|^p\right)^{(1/p)}} \\
 &= e^{\left(\sum_{k=1}^{\infty} |a_k|^p\right)^{(1/p)} e^{\left(\sum_{k=1}^{\infty} |b_k|^p\right)^{(1/p)}} \\
 &= e^{\left(\ln e^{\sum_{k=1}^{\infty} |a_k|^p}\right)^{(1/p)} e^{\left(\ln e^{\sum_{k=1}^{\infty} |b_k|^p}\right)^{(1/p)}} \\
 &= e^{\left(\ln \prod_{k=1}^{\infty} e^{|a_k|^p}\right)^{(1/p)} e^{\left(\ln \prod_{k=1}^{\infty} e^{|b_k|^p}\right)^{(1/p)}} \\
 &= e^{\left(\ln \prod_{k=1}^{\infty} e^{|a_k| \ln^{p-1} e^{|a_k|}}\right)^{(1/p)} e^{\left(\ln \prod_{k=1}^{\infty} e^{|b_k| \ln^{p-1} e^{|b_k|}}\right)^{(1/p)}}
 \end{aligned}$$

$$= \sqrt[p]{\sum_{Gk=1}^{\infty} |x_k|_G^{p_G}} \oplus \sqrt[p]{\sum_{Gk=1}^{\infty} |y_k|_G^{p_G}}$$

eşitsizliği elde edilir.

**Teorem 2.5:**  $l_p(G)$  uzayı,  $\|x\|_{G_p} = \left(\sum_{Gk=1}^{\infty} |x_k|_G^{p_G}\right)^{(1/p)_G}$  şeklinde tanımlanan  $\|\cdot\|_G: l_p \rightarrow \mathbb{R}^+(G)$  fonksiyonu ile bir normlu uzaydır.

**İspat:**  $x = (x_k), y = (y_k) \in l_p(G), \alpha \in \mathbb{R}_G$  olmak üzere

$$(GN1) \|x\|_{G_p} = 1 \Leftrightarrow \left(\sum_{Gk=1}^{\infty} |x_k|_G^{p_G}\right)^{(1/p)_G} = 1 \Leftrightarrow x = 1$$

$$(GN2) \|\alpha \odot x\|_{G_p} = \left(\sum_{Gk=1}^{\infty} |\alpha \odot x_k|_G^{p_G}\right)^{(1/p)_G} = \left(\sum_{Gk=1}^{\infty} |\alpha|_G^{p_G} \odot |x_k|_G^{p_G}\right)^{(1/p)_G}$$

$$= |\alpha|_G \odot \|x\|_{G_p}$$

$$(GN3) \|x \oplus y\|_{G_p} = \left(\sum_{Gk=1}^{\infty} |x_k \oplus y_k|_G^{p_G}\right)^{(1/p)_G}$$

$$\leq \left(\sum_{Gk=1}^{\infty} |x_k|_G^{p_G}\right)^{(1/p)_G} \oplus \left(\sum_{Gk=1}^{\infty} |y_k|_G^{p_G}\right)^{(1/p)_G}$$

$$= \|x\|_{G_p} \oplus \|y\|_{G_p}$$

elde edilir.

**Önerme 2.6:**

a)  $p \in (0,1)$  olsun. Eğer  $a, b \geq 0$  ise

$$(a + b)^p \leq a^p + b^p \tag{1}$$

dir. Daha genel olarak  $a_1, a_2, \dots, a_n$  negatif olmayan reel sayılar olmak üzere

$$\left(\sum_{k=1}^n a_k\right)^p \leq \sum_{k=1}^n a_k^p$$

dir (Yeh, 2006).

b)  $p \geq 1$  olsun. Eğer  $a, b > 0$  ise

$$(a + b)^p \leq 2^{p-1}(a^p + b^p) \tag{2}$$

dır (Nesin, 2012).

**Önerme 2.7:**  $0 < p < 1$  olmak üzere  $x, y \in \mathbb{R}_G$  için

$$(x \oplus y)^{p_G} \leq x^{p_G} \oplus y^{p_G} \tag{3}$$

eşitsizliği vardır.

**İspat :**  $0 < p < 1$  için  $a, b \in \mathbb{R}$  olmak üzere  $x = e^a, y = e^b$  olacak şekilde  $x, y \in \mathbb{R}_G$  olsun. O halde (1) eşitsizliği kullanılırsa,

$$\begin{aligned}
 (x \oplus y)^{p_G} &= (x \cdot y)^{\ln^{p-1} x \cdot y} \\
 &= (e^a \cdot e^b)^{\ln^{p-1} e^a \cdot e^b} \\
 &= (e^{a+b})^{\ln^{p-1} e^{a+b}} \\
 &= e^{(a+b) \ln^{p-1} e^{(a+b)}} = e^{(a+b)^p} \\
 &\leq e^{a^p + b^p} = e^{a^p} \cdot e^{b^p} \\
 &= e^{a \cdot a^{p-1}} \cdot e^{b \cdot b^{p-1}} = e^{a \cdot (\ln e^a)^{p-1}} \cdot e^{b \cdot (\ln e^b)^{p-1}} \\
 &= e^{a \cdot \ln^{p-1} e^a} \cdot e^{b \cdot \ln^{p-1} e^b} \\
 &= x^{\ln^{p-1} x} \cdot y^{\ln^{p-1} y} \\
 &= x^{p_G} \cdot y^{p_G} \\
 &= x^{p_G} \oplus y^{p_G}
 \end{aligned}$$

eşitsizliği elde edilir.

**Önerme 2.8 :**  $p \geq 1$  olmak üzere  $x, y \in \mathbb{R}_G$  için

$$(x \oplus y)^{p_G} \leq (e^2)^{(p-1)_G} \odot (x^{p_G} \oplus y^{p_G}) \tag{4}$$

eşitsizliği vardır.

**İspat :**  $p \geq 1$  için  $a, b \in \mathbb{R}$  olmak üzere  $x = e^a, y = e^b$  olacak şekilde  $x, y \in \mathbb{R}_G$  olsun. O halde (2) eşitsizliği kullanılırsa,

$$\begin{aligned}
 (x \oplus y)^{p_G} &= (x \cdot y)^{\ln^{p-1} x \cdot y} \\
 &= (e^a \cdot e^b)^{\ln^{p-1} e^a \cdot e^b} \\
 &= (e^{a+b})^{\ln^{p-1} e^{a+b}} \\
 &= e^{(a+b) \ln^{p-1} e^{(a+b)}} = e^{(a+b)^p} \\
 &\leq e^{2^{(p-1)} \cdot (a^p + b^p)} \\
 &= e^{2^{(p-1)} \cdot \ln e^{(a^p + b^p)}} \\
 &= e^{2^{(p-1)} \cdot \ln e^{a^p} \cdot e^{b^p}} \\
 &= e^{2^{(p-1)} \cdot \ln(x^{p_G} \oplus y^{p_G})} \\
 &= (e^{2^{(p-1)}}) \odot (x^{p_G} \oplus y^{p_G}) \\
 &= (e^{2 \cdot \ln^{p-2} e^2}) \odot (x^{p_G} \oplus y^{p_G}) \\
 &= (e^2)^{(p-1)_G} \odot (x^{p_G} \oplus y^{p_G})
 \end{aligned}$$

elde edilir.

**Theorem 2.9 :**  $0 < p < \infty$  olmak üzere  $l_p(G)$  uzayı geometrik hesap tarzına göre konvektir.

**İspat :**  $l_p(G)$  uzayının konveks olduğunu göstermek için

$$x, y \in l_p(G) \text{ ve } t \in (0,1) \text{ için } t \odot x \oplus (1 \ominus t) \odot y \in l_p(G)$$

olduğu gösterilmelidir. İki durumda incelenmiştir.

1. durum :  $0 < p < 1$  için (3) eşitsizliği kullanılırsa

$$\begin{aligned} \sum_{Gk=1}^{\infty} |t \odot x_k \oplus (1 \ominus t) \odot y_k|_{G}^{p_G} &\leq \sum_{Gk=1}^{\infty} |t \odot x_k|_{G}^{p_G} \oplus \sum_{Gk=1}^{\infty} |(1 \ominus t) \odot y_k|_{G}^{p_G} \\ &= |t|_{G}^{p_G} \odot \sum_{Gk=1}^{\infty} |x_k|_{G}^{p_G} \oplus |1 \ominus t|_{G}^{p_G} \odot \sum_{Gk=1}^{\infty} |y_k|_{G}^{p_G} \\ &< \infty \end{aligned}$$

elde edilir.

2. durum :  $p \geq 1$  için (4) eşitsizliği kullanılırsa

$$\begin{aligned} \sum_{Gk=1}^{\infty} |t \odot x_k \oplus (1 \ominus t) \odot y_k|_{G}^{p_G} &\leq \sum_{Gk=1}^{\infty} \left( (e^2)^{(p-1)G} \odot (|t \odot x_k|_{G}^{p_G} \oplus |(1 \ominus t) \odot y_k|_{G}^{p_G}) \right) \\ &= (e^2)^{(p-1)G} \odot \left( |t|_{G}^{p_G} \odot \sum_{Gk=1}^{\infty} |x_k|_{G}^{p_G} \oplus |1 \ominus t|_{G}^{p_G} \odot \sum_{Gk=1}^{\infty} |y_k|_{G}^{p_G} \right) \\ &< \infty \end{aligned}$$

elde edilir.

**Teorem 2.10 :**  $1 < p < \infty$  olmak üzere  $l_p(G)$  uzayı geometrik kesin konvektir.

**İspat:**  $x, y \in l_p(G)$  ,  $x \neq y$  ve  $\|x\|_{G_p} = \|y\|_{G_p} = 1$  olsun.  $0$  halde  $t \in (0,1)$  için  $\|t \odot x \oplus (1 \ominus t) \odot y\|_{G_p} < 1$  olduğu gösterilmelidir.

$$\begin{aligned} \|t \odot x \oplus (1 \ominus t) \odot y\|_{G_p} &= \left( \sum_{Gk=1}^{\infty} |t \odot x_k \oplus (1 \ominus t) \odot y_k|_{G}^{p_G} \right)^{(1/p)_G} \\ &< \left( \sum_{Gk=1}^{\infty} |t \odot x_k|_{G}^{p_G} \right)^{(1/p)_G} \oplus \left( \sum_{Gk=1}^{\infty} |(1 \ominus t) \odot y_k|_{G}^{p_G} \right)^{(1/p)_G} \\ &= |t|_{G} \odot \|x\|_{G_p}^{p_G} \oplus |1 \ominus t|_{G} \odot \|y\|_{G_p}^{p_G} \\ &= 1 \end{aligned}$$

elde edilir.

### 3. Sonuçlar

#### 3. Conclusions

Bu çalışmada, geometrik hesap tarzına göre  $l_p(G)$  uzayı tanıtılıp normlu uzay olduğu gösterilmiştir. Elde edilen gerekli eşitsizlikler yardımıyla  $l_p(G)$  uzayının konveks ve kesin konveks olduğu elde edilmiştir.

#### Teşekkür / Katkı belirtme

##### Acknowledgement

Bu çalışma, PYO.FEN.1904.17.014 nolu Bilimsel Araştırma Projesi olarak Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı derginin editör ve hakemlerine teşekkür ediyorum.

#### Yazar katkısı

##### Author contribution

Tüm yazarlar makalenin tüm bölümlerine katkıda bulunmuştur.

#### Etik beyanı

##### Declaration of ethical code

Bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

#### Çıkar çatışması beyanı

##### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

**Kaynaklar****References**

- Bashirov, A.E., & Rıza, M. (2011). On complex multiplicative differentiation. *TWMS Journal of Applied and Engineering Mathematics*, 1(1), 75-85.
- Binbaşıoğlu, D., Demiriz, S. & Türkoğlu, D. (2015). Fixed points of non-newtonian contraction mappings on non-newtonian metric spaces. *Journal of Fixed Point Theory and Applications*, 17(5), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11784-015-0271-y>.
- Boruah, K. (2017). On some basic properties of geometric real sequences. *International Journal of Mathematics Trends and Tecnology*. 46(2), 111-117. <https://doi.org/10.14445/22315373/IJMTT-V46P519>.
- Çakmak, A.F., & Başar, F. (2012). Some new results on sequence spaces with respect to non-newtonian calculus. *Journal of Inequalities and Applications*. 228, 1-12. <https://doi.org/10.1186/1029-242X-2012-228>.
- Duyar, C., Sağır, B. & Oğur, O. (2015). Some basic topological properties on non-newtonian real line. *British Journal of Mathematics and Computer Science*. 9(4), 295-302. <https://doi.org/10.9734/BJMCS/2015/17941>.
- Duyar, C., & Sağır, B. (2017). Non-Newtonian comment of Lebesgue measure in real numbers. *Journal of Mathematics*, Article ID 6507013, 1-4. <https://doi.org/10.1155/2017/6507013>.
- Duyar, C., & Oğur, O. (2017). A note on topology of non-Newtonian real numbers. *Journal of Mathematics*, 13(6), 11-14.
- Grossmann, M., Katz, R. (1972). *Non-newtonian calculus*. (First edition). Massachussets: Lee Press.
- Güngör, N. (2020). Some geometric properties of the non-Newtonian sequence spaces  $l_p(N)$ . *Mathematica Slovaca*. 70(3), 689-696. <https://doi.org/10.1515/ms-2017-0382>.
- Gurefe, Y., Kadak, U., Mısırlı, E., & Kurdi, A. (2016). A new look at the classical sequence spaces by using multiplicative calculus. *U.P.B. Bull. Series A*. 78(2), 9-20.
- Nesin, A. (2012). *Analiz 2*. Türkiye: Nesin Yayıncılık.
- Oğur, O. (2018). Some geometric properties of weighted Lebesgue spaces  $L_w^p(G)$ . *Facta Universitatis (NIS) Series Mathematics and Informatics*, 33(4), 523-530.
- Oğur, O., & Demir, S. (2019). On non-Newtonian measure for  $\alpha$  - closed sets. *New Trends in Mathematical Sciences*, 7(2), 202-207. <https://doi.org/10.20852/ntmsci.2019.358>.
- Oğur, O., & Demir, S. (2020). Newtonyen olmayan Lebesgue ölçüsü. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1), 134-139. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.598468>.
- Türkmen, C., & Başar, F. (2012). Some basic results on the sets of sequences with geometric calculus. *Commun Faculty Scientific University Ankara Series*. 61(2), 17-34. <https://doi.org/10.1501/commual-000000677>.
- Yeh, J. (2006). *Reel analysis: Theory of measure and integration* (Second edition). Singapore: World Scientific Publishing.



## Fabrication of SnS thin film by rapid thermal processing: effect of annealing temperature in sulfurization process

*Hızlı ısıtma işlemle SnS ince filmlerinin üretimi: sülfürleme işleminde tavlama sıcaklığının etkisi*

Ali ÇİRİŞ<sup>\*1,a</sup>, Mehmet Ali OLGAR<sup>1,2,b</sup>

<sup>1</sup> Nanotechnology Application and Research Center, Niğde Ömer Halisdemir University, 51240, Niğde

<sup>2</sup> Department of Physics, Niğde Ömer Halisdemir University, 51240, Niğde

• Geliş tarihi / Received: 08.10.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 23.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 16.01.2022

### Abstract

In this study, the effect of sulfurization temperature on properties of SnS thin films was investigated. The SnS thin films were fabricated by two-stage method includes deposition of SnS films by magnetron sputtering using a single SnS target, followed by annealing/sulfurization treatment in Rapid Thermal Processing (RTP) system at 225, 300 and 375 °C temperatures. Several characterization techniques such as XRD, Raman spectroscopy, EDX, optical transmission and Van der Pauw were used for analyses of the films. The EDX analyses showed that all the samples had almost stoichiometric (S/Sn~1) chemical composition. However, the amount of sulfur in the samples increased slightly as the sulfurization temperature increased. XRD pattern of the films exhibited constitution of orthorhombic SnS structure regardless of annealing temperature. The SnS<sub>2</sub> secondary phase was observed in addition to orthorhombic SnS phase in the sample annealed at highest reaction temperature (375°C). Raman spectroscopy measurements of the films verified constitution of orthorhombic SnS structure. The band gap of the films exhibited distinction from 1.42 to 1.81 eV regarding to annealing temperature. The electrical characterization of the most promising SnS thin film sulfurized at 300°C had resistivity and charge carrier concentration values  $1.07 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$  and  $1.70 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ , respectively. Based on the all characterizations, it can be deduced that SnS thin film sulfurized at 300°C exhibited more outstanding structural and optical properties for potential solar cell applications.

**Keywords:** Rapid thermal processing (RTP), RF magnetron sputtering, Sulfurization temperature, Tin sulfide (SnS)

### Öz

Bu çalışmada, sülfürleme sıcaklığının SnS ince filmlerin özellikleri üzerine etkisi araştırıldı. SnS ince film örnekleri, RF saçırma metodunda tek hedef SnS saçırma kaynağı kullanılarak ile SnS filmlerinin biriktirilmesi ve devamında 225, 300 ve 375°C sıcaklıklarda Hızlı Isıl İşlem (RTP) sistemiyle tavlama/sülfürleme işlemi kullanılmasıyla iki aşamada üretildi. Filmlerin analizleri için XRD, Raman spektroskopisi, EDX, optik geçirgenlik ve Van der Pauw gibi çeşitli karakterizasyon teknikleri kullanıldı. EDX analizleri, tüm numunelerin neredeyse stokiometrik (S/Sn~1) kimyasal kompozisyona sahip olduğunu gösterdi. Ancak sülfürleme sıcaklığı arttıkça numunelerdeki sülfür miktarının hafifçe arttığı görüldü. Filmlerin XRD spektrumları, tavlama sıcaklığından bağımsız olarak ortorombik SnS yapısının oluşumunu gösterdi. En yüksek sıcaklıkta (375°C) tavlanan SnS örneğinde ortorombik SnS fazının yanında SnS<sub>2</sub> ikincil faz oluşumu gözlemlendi. Filmlerin Raman spektroskopisi ölçümleri, ortorombik SnS yapısının oluşumunu doğruladı. Filmlerin bant aralığının, sülfürleme sıcaklığına bağlı olarak 1.42 ile 1.81 eV arasında değiştiği belirlendi. Sergilediği özellikler ile öne çıkan örnek olan 300°C'de sülfürlenen SnS ince filminin elektriksel karakterizasyonu, özdirenç ve yük taşıyıcı konsantrasyonunun sırasıyla  $1.07 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$  ve  $1.70 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$  olduğu belirlendi. Gerçekleştirilen tüm karakterizasyonlara dayanarak, 300°C'de sülfürlenen SnS ince filminin potansiyel güneş hücre uygulamaları için daha üstün yapısal ve optik özelliklere sahip olduğu sonucuna varıldı.

**Anahtar kelimeler:** Hızlı ısıtma işlem (RTP), RF mıknatıssal saçırma, Sülfürleme sıcaklığı, Kalay sülfür (SnS)

<sup>\*a</sup> Ali ÇİRİŞ; aliciris@ohu.edu.tr, Tel: (0388) 225 45 07, orcid.org/0000-0003-4266-2080

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-6359-8316

## 1. Introduction

### 1. Giriş

SnS thin films have been studied as a potential photovoltaic material to overcome some problems encountered in CdTe, Cu(In, Ga)Se<sub>2</sub> (CIGS) etc. thin films that are mostly used in thin film solar cell industry. They suffer from scarcity of In and Ga, toxicity of Cd (Banai et al., 2016; Candelise et al., 2012; Reddy et al., 2010; Tao et al., 2013; Zakutayev, 2017; Zayed & Philippe, 2009). Unlike CdTe and CIGS, SnS has earth-abundant and environmentally friendly raw materials (Fu, 2018; Koteeswara Reddy et al., 2015; Norton et al., 2021). SnS is a binary semiconductor compound that has a direct transition band structure with a band gap between 1.2-1.7 eV (Noguchi et al., 1994; Sorgenfrei et al., 2013), high absorption coefficient ( $>10^4 \text{ cm}^{-1}$ ) and p-type conductivity (Vidal et al., 2012; Zhao et al., 2016). All aforementioned properties make this compound very suitable material for photovoltaic applications. Although the SnS semiconductor compound has suitable properties for photovoltaic applications and theoretical limit higher than the 30%, the maximum experimental efficiency is still too low (Shockley & Queisser, 1961; Sinsermuksakul et al., 2014). The divergence between theoretical and record efficiency value might be accredited to chemical composition, crystalline quality, buffer layer etc. (Di Mare et al., 2017).

The SnS thin films could be prepared by several techniques such as evaporation (Johnson et al., 1999; Noguchi et al., 1994), sputtering (Guang-Pu et al., 1994; Hartman et al., 2011), e-beam evaporation (Gedi et al., 2017; Tanuševski & Poelman, 2003), close space sublimation (Paudel et al., 2015; Zhan et al., 2012), chemical bath deposition (Nair et al., 1991; Ristov et al., 1989), spray pyrolysis (Reddy et al., 2001; Sajeesh et al., 2010), chemical vapor deposition (Kevin et al., 2015; Ortiz et al., 1996), electrodeposition (Ghazali et al., 1998; Zainal et al., 1996). Among these methods, the sputtering method is one of the most preferred method in fabrication of SnS thin films since it provides uniform, high quality, controllable film thickness and mass production ability (Arepalli & Kim, 2018; Arepalli et al., 2019; Son et al., 2020).

It is possible to change morphology, phase-purity, crystallinity and the optical properties of SnS thin films by alteration of deposition parameters such as working pressure, RF power, substrate temperature, etc. (Arepalli & Kim, 2018). Arepalli et al. investigated the effect of working pressure (6

mTorr to 50 mTorr) on properties of SnS thin films. They observed that that the film deposited at 30 mTorr had a more desired grain-growth and surface morphology (Arepalli et al., 2018). Baby et al. showed that the RF power played an active role in the formation secondary phases (such as Sn<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) in SnS thin films. It was seen that the grain structure changed from elongated shape to spherical shape, the sample had non-uniform chemical composition and the band gap shifted by varying the RF power (Baby & Mohan, 2019). In another study, impact of the substrate temperature was investigated. The substrate temperature was increased from room temperature to 420°C. It was seen that large-grained surface morphology obtained by increasing substrate temperature and the best sample prepared by substrate temperature of 350°C (Arepalli & Kim, 2018).

Another important parameter in fabrication of SnS thin film is annealing/sulfurization process which has significant effect on quality of SnS films. This process can be performed by utilizing either Conventional Thermal Processing (CTP) or Rapid Thermal Processing (RTP). The latter one offers much faster heating rate and much shorter annealing time than the CTP system. In this way, the grain growth processes can complete more quickly than the decomposition reactions (Fairbrother et al., 2014).

The SnS thin films can be produced either by deposition of Sn layer followed by sulfurization process or using single source of SnS. The latter strategy is sometimes more proper for fabrication of SnS samples because it offers more homogenous film coating and more facile control of film composition.

Arepalli et al. deposited SnS specimens at room temperature utilizing SnS target by RF sputtering. They investigated effect of deposition pressure on properties of SnS thin films without post-annealing process (Arepalli et al., 2019). Son et al. also followed similar strategy for preparation of SnS samples. They changed the working pressure during the deposition process and obtained the highest efficiency by 0.58% with working pressure of 2.0 Pa. It should be noted that no post-annealing process was applied to deposited films (Son et al., 2020). Rana et al. produced SnS specimens by sputtering employing single source then they annealed the deposited film at 400°C for 1 h in sulfur atmosphere. They found that the sulfurization process improved the crystal structure, resulted in higher carrier concentration,

lower mobility and lower band gap (Rana et al., 2018).

In this study, to the best of our knowledge, this is the first study that examines effect of sulfurization process on properties of SnS samples carried out by RTP method. In this context, SnS samples were fabricated by sputtering method using single SnS target, followed by post-sulfurization process at 225°C, 300°C and 375°C temperatures.

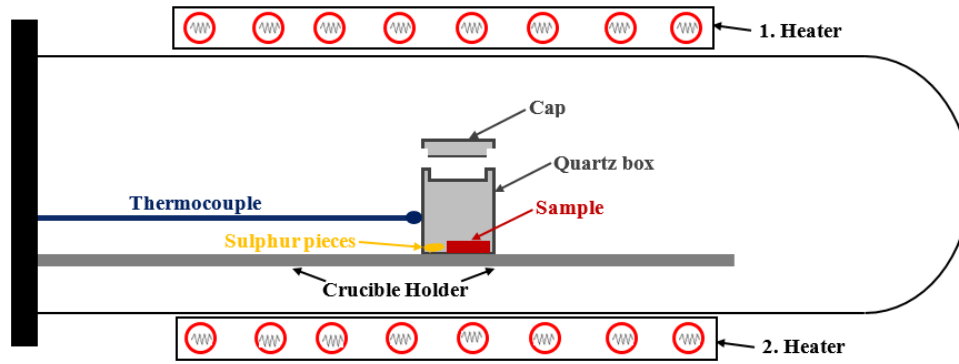
## 2. Material and method

### 2. Materyal ve metot

SnS thin film samples were fabricated by RF magnetron sputtering method employing single target of SnS. Before the deposition process, all glass substrates were exposed to cleaning process using acetone, isopropyl alcohol and de-ionized water in ultrasonic cleaner. Then, they were dried utilizing N<sub>2</sub> gas. SnS films were deposited at  $3 \times 10^{-3}$  working pressure applying 40 W of RF power.

The thickness of films was calibrated to 500 nm. More details on deposition of SnS thin films can be found elsewhere (Olgar et al., 2021).

The sulfurization process was carried out using the RTP furnace. The RTP system carried out the sulfurization process is shown schematically in Figure 1. For the sulfurization process, SnS thin films were placed inside the cylindrical quartz box with a interior volume of 7.6 cm<sup>3</sup>. Then, 50 mg of high purity sulfur pieces (99.9995%) were loaded on one side of the quartz box. Finally, the cap of the quartz box was closed to ensure sufficient sulfur pressure inside the box and then was inserted into the RTP vacuum chamber. In order to examine the effect of the post-sulfurization temperature, the treatment was performed at 225°C, 300°C and 375°C temperatures for 5 min in Ar+H<sub>2</sub> atmosphere. The ramping rate of heating process was fixed to 3°C/s. After the sulfurization process, the samples were allowed to cool naturally.



**Figure 1.** Schematic representation of the RTP furnace employed for the sulfurization process

**Şekil 1.** Sülfürleme işlemi için kullanılan RTP fırınının şematik gösterimi

The samples were labeled according to their sulfurization temperatures, as presented in Table 1. For example, the S-300 sample represents the SnS thin film sulfurized at 300°C. The ‘as dep.’ is abbreviation of “as-deposited” that is no sulfurization process applied for this sample.

**Table 1.** Sulfurization temperatures of SnS thin films

**Tablo 1.** SnS ince filmlerinin sülfürleme sıcaklıkları

Sample	Sulfurization Temperature
As dep.	-
S-225	225°C
S-300	300°C
S-375	375°C

X-ray diffraction measurements (XRD) was utilized to investigate structural properties of the

prepared samples. Raman spectroscopy measurements have been utilized using 633 nm laser source for verification of SnS phase and distinguishing of secondary phases. The energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) was used for determination of chemical composition of the films. The optical transmission measurements were carried out by spectroscopic ellipsometer (600-1200 nm). Electrical properties of the samples were characterized by Van der Pauw method.

## 3. Results and discussion

### 3. Bulgular ve tartışma

The chemical composition of as-deposited (As dep.) and sulfurized SnS samples are shown in Table 2. As shown in Table 2, all of the SnS samples had approximately stoichiometric (S/Sn ~1) chemical composition regardless of the sulfurization process and temperature. Although no remarkable difference was observed in the

chemical composition of the samples, increasing the temperature above the 225°C slightly enhanced sulfur content of the samples (see Table 2). It can be said that sulfurization process at above the 225°C may help diffusion of S atoms in the structure and enhanced the sulfur composition of the films due to sulfurization process.

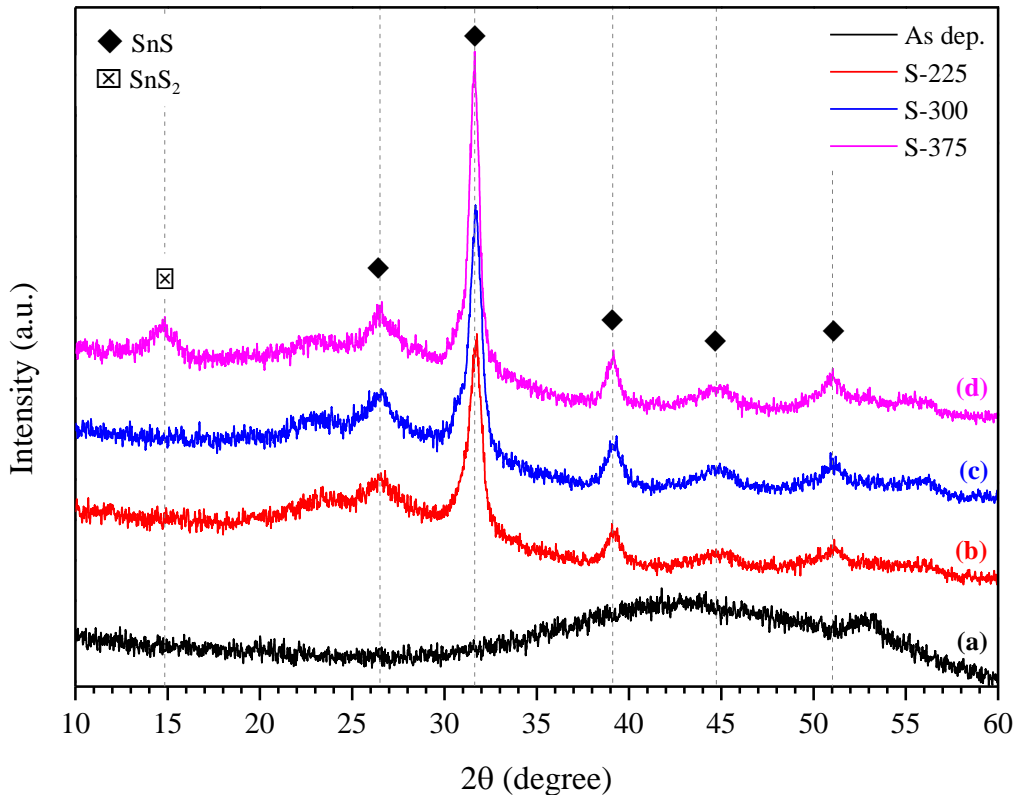
**Table 2.** Atomic composition and atomic ratio of SnS thin films

**Tablo 2.** SnS ince filmlerinin atomik kompozisyon ve atomik oranı

Sample	Sn (%)	S (%)	S/Sn
As dep.	50.70	49.30	0.97
S-225	50.80	49.20	0.97
S-300	49.80	50.20	1.01
S-375	49.30	50.70	1.03

The XRD patterns of the as-deposited and sulfurized SnS specimens are displayed in Figure 2. When the XRD pattern of as deposited SnS thin film was examined, it could not be seen a prominent pattern due to amorphous structure of this sample since no annealing process was applied. Contrary to as-deposited sample, when XRD patterns of sulfurized samples were investigated, it was seen that distinct diffraction peaks were

observed at around  $2\theta = 26.5^\circ, 31.6^\circ, 39.1^\circ, 44.7^\circ$  and  $51.0^\circ$  that correspond to the orthorhombic crystal structure of SnS phase (JCPDS 98-010-6028) (Arepalli og Kim, 2018; Nwofe et al., 2013). It was observed all samples displayed diffraction peaks of orthorhombic crystal structure of SnS irrespective of the sulfurization temperature. In addition to SnS phase, it was observed that the S-375 sample had a weak diffraction peak at around  $2\theta=15^\circ$ . This peak may be attributed to the hexagonal SnS<sub>2</sub> phase, Formation of this phase might be due to more sulfur content of this sample (see Table 2). Since SnS thin films can decompose during the sulfurization process, Sn and S atoms may move towards the film surface at different velocity due to differences in the vapor pressure. Due to S inclusion from the sulfurization process, some S atoms may condense on Sn atoms and it causes formation of the SnS<sub>2</sub> phase between the grain boundaries (Naidu et al., 2017). The similar situation was reported in some studies in the literature (Naidu et al., 2017; Patel et al., 2013). Formation of SnS<sub>2</sub> phase in the structure of SnS thin film is undesirable situation since this phase has a detrimental effect on the performance of solar cell that reduces the open circuit voltage ( $V_{oc}$ ) of the device by forming a diode that behaves as a barrier for charge collection (Wang et al., 2018).



**Figure 2.** XRD spectra of SnS thin films a) as-deposited and sulfurized at b) 225°C, c) 300°C, d) 375°C  
**Şekil 2.** a) Sülfürlenmeyen ve b) 225°C c) 300°C d) 375°C'de sülfürlenen SnS ince filmlerinin XRD spektrumları

In order to examine impact of the sulfurization temperature on structural properties of SnS thin films in more detail, the crystallite size, dislocation density and strains were calculated and presented in Table 3. For this calculation, the full-width at half-maximum (FWHM) values of preferential peak stems from (111) diffraction plane located at around  $2\theta = 31.6^\circ$  extracted from the XRD patterns (see Figure 2). The crystallite size ( $D$ ), dislocation density ( $\delta$ ), and strain values ( $\varepsilon$ ) were calculated using the following relations respectively (Chopra, 1969; Patterson, 1939):

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

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{\beta \cos \theta}{4} \quad (3)$$

where  $K$  is Scherrer constant (0.94),  $\lambda$  is the wavelength of Cu- $K_\alpha$  irradiation,  $\beta$  is the full width at half maximum (FWHM) and  $\theta$  is the diffraction angle.

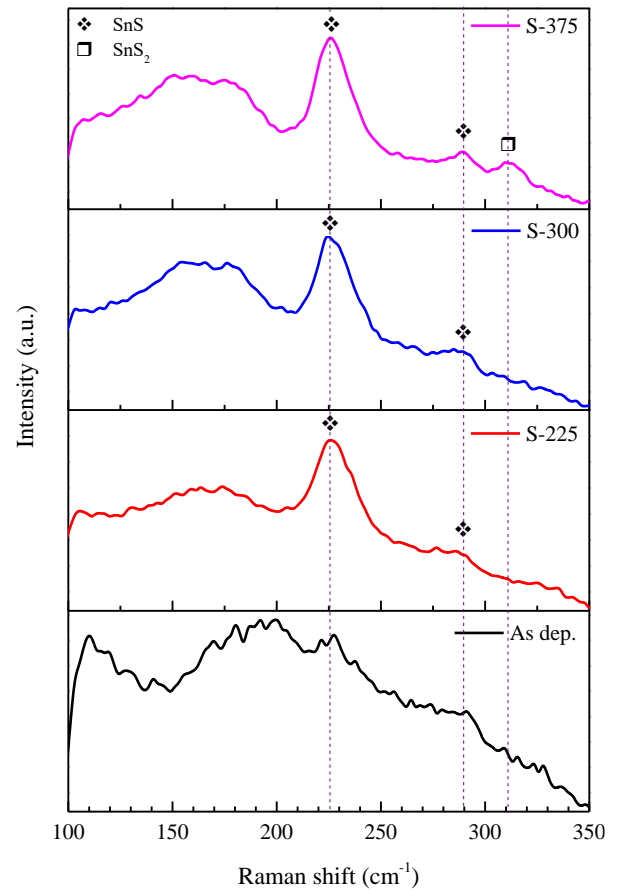
**Table 3.** Structural parameters of grown SnS samples

**Tablo 3.** SnS örneklerinin yapısal parametreleri

Sample	D (nm)	$\delta \times 10^{-3} (\text{nm}^{-2})$	$\varepsilon \times 10^{-3}$
As dep.	-	-	-
S-225	11.34	7.77	3.17
S-300	11.81	7.16	3.05
S-375	13.26	5.68	2.71

As displayed in Table 3, when sulfurization temperature increased from 225°C to 375°C the crystallite size enhanced from 11.34 nm to 13.26 nm, the dislocation density decreased from  $7.77 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-2}$  to  $5.68 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-2}$  and strain values decreased from  $3.17 \times 10^{-3}$  to  $2.71 \times 10^{-3}$ . It might be said that arising the sulfurization temperature contributed to enhance the crystallite size and decrease dislocation density and strain in the samples. When taking both XRD patterns and calculated structural parameters into considerations in a body, although the S-375 sample has more promising structural properties, formation of secondary phase ( $\text{SnS}_2$ ) at corresponding annealing temperature indicated that the 300°C temperature is more suitable for SnS sample preparation in terms of secondary phase-free structure. The sulfurization temperature above the 300°C may adversely affect crystal structure of SnS samples in terms of phase purity.

Raman spectra as deposited and sulfurized SnS samples at different temperatures are displayed in Figure 3. A distinct Raman spectrum was not observed for as-deposited SnS thin film as seen in XRD pattern of the same sample. As the sulfurization was applied to as-deposited samples, apparent Raman peaks were observed at  $226 \text{ cm}^{-1}$  and  $289 \text{ cm}^{-1}$  that are attributed to the orthorhombic SnS structure (Chandrasekhar et al., 1977). The peak at  $226 \text{ cm}^{-1}$  corresponds to  $A_g$  mode and the  $289 \text{ cm}^{-1}$  corresponds to the  $B_{2g}$  vibration modes of orthorhombic SnS phase (Baby og Mohan, 2018; Chandrasekhar et al., 1977). Irrespective of sulfurization temperature, all samples verified formation of SnS phase, however when the sulfurization temperature increased above to the 300°C, formation of a weak Raman peak at around  $312 \text{ cm}^{-1}$  was observed. This peak can correspond to the  $A_{1g}$  mode of  $\text{SnS}_2$  phase (Gurnani et al., 2018; Lee et al., 2017; Smith et al., 1977). These results are consistent with the XRD data of the samples.



**Figure 3.** Raman spectra of SnS thin films a) as-deposited and sulfurized at b) 225°C, c) 300°C, d) 375°C

**Şekil 3.** a) Sülfürlenmeyen ve b) 225°C c) 300°C d) 375°C'de sülfürlenen SnS ince filmlerinin Raman spektrumları

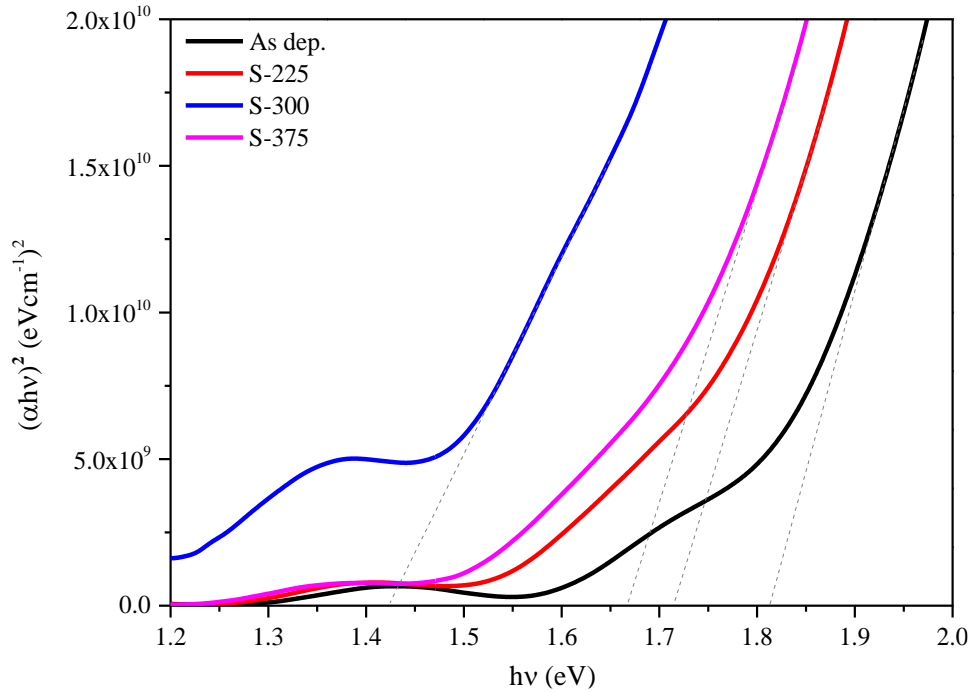
Optical properties of SnS samples were investigated by taking optical transmission measurement. The absorption coefficient ( $\alpha$ ) and optical band gap ( $E_g$ ) were determined from following formulas respectively (Tauc et al., 1966):

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \quad (4)$$

$$(\alpha hv) = A(hv - E_g)^{1/2} \quad (5)$$

where  $d$  represents thickness of the film,  $T$  is transmittance,  $A$  is constant and  $hv$  is the energy of the photon. The optical band gaps were determined by taking interception on the horizontal axis of  $(\alpha hv)^2 - (hv)$  curve (see Figure 4). In this regard, the calculated band gap values are listed in Table 4. It

was seen that the as deposited sample had 1.81 eV band gap value and the sulfurized samples had values varied from 1.42 eV to 1.71 eV due to sulfurization process and temperature. The obtained band gap values are consistent with literature (Ceylan, 2017; Hasan og Shallal, 2014; Jain og Arun, 2013; Javed et al., 2020; Sousa et al., 2014). It was determined that as the uprising the sulfurization temperature up to 300°C, the band gap decreased up to 1.42 eV that is nearly optimal band gap for SnS phase reported in the literature. However, the band gap of the films increased from 1.42 eV to 1.67 eV by increasing the sulfurization temperature from 300°C to 375°C that is higher than the optimal band gap value. The distinction in optical band gaps may be ascribed to crystalline quality, stoichiometric deviations and grain structure (Guo et al., 2017; Jain og Arun, 2013).



**Figure 4.** Plots of  $(\alpha hv)^2 - (hv)$  of SnS thin films for estimation of optical band gaps  
**Şekil 4.** Optik bant aralıklarının belirlenmesi için SnS ince filmlerinin  $(\alpha hv)^2 - (hv)$  grafikleri

**Table 4.** The band gap values of as deposited and sulfurized SnS thin films

**Tablo 4.** Sülfürlenmeyen ve sülfürlenen Sn Sence filmlerinin yasak enerji değerleri

Sample	$E_g$ (eV)
As dep.	1.81
S-225	1.71
S-300	1.42
S-375	1.67

Electrical characterization of the samples demonstrated that all samples showed p-type

conductivity regardless of the sulfurization temperature. The electrical properties (resistivity and carrier concentration) of SnS samples are summarized in Table 5. As summarized in the Table 5, it was found that the resistivity of the samples were about  $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$  and carrier concentration values were about  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$  that are compatible with the reported studies in the literature (Chalapathi et al., 2020; Park et al., 2015). When taking electrical properties of the samples into consideration, it was observed that the sulfurization process and temperature has no remarkable impact on electrical properties of the films.

**Table 5.** Electrical properties of as-deposited and sulfurized SnS thin films**Tablo 5.** Sülfürülenmeyen ve sülfürlenen SnS ince filmlerinin elektriksel özellikleri

Sample	Resistivity ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	Carrier concentration ( $\text{cm}^{-3}$ )
As dep.	$1.35 \times 10^4$	$1.70 \times 10^{14}$
S-225	$1.32 \times 10^4$	$2.22 \times 10^{14}$
S-300	$1.07 \times 10^4$	$1.70 \times 10^{14}$
S-375	$1.12 \times 10^4$	$1.12 \times 10^{14}$

#### 4. Conclusion

##### 4. Sonuçlar

In this study, the effect of sulfurization temperature on structural, optical and electrical properties of SnS thin films was investigated. The SnS samples were prepared by two-stage process includes sputter deposition of SnS thin film using single target followed by the sulfurization process carried out at 225, 300 and 375°C temperatures employing RTP method. The EDX results showed that all samples had nearly stoichiometric (S/Sn~1) composition, however higher annealing temperature ( $> 300^\circ\text{C}$ ) gave rise to excess of sulfur content in the structure. The XRD patterns showed that orthorhombic SnS phase formed in all samples regardless of the sulfurization temperature. However, the SnS<sub>2</sub> secondary phase also formed in S-375 sample in addition to SnS phase. In addition, increasing the sulfurization temperature enhanced crystallite size, reduced the dislocation density and decreased strain in the lattice of the samples. The Raman spectra confirmed formation of SnS phase in all samples and SnS<sub>2</sub> phase only in S-375 sample that is consistent with XRD data of the samples. Optical band gap values decreased from 1.81 eV to 1.42 eV with sulfurization process. Electrical characterizations showed that all samples had resistivity values about  $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$  and carrier concentration values about  $10^{14} \text{cm}^{-3}$ . Considering the all characterization results, it can be concluded that higher sulfurization temperatures ( $\geq 300^\circ\text{C}$ ) yielded more proper structural, optical and electrical properties in SnS thin films. The sulfurization of SnS thin films at  $300^\circ\text{C}$  presented more promising properties amongst other samples for potential photovoltaic application.

#### Acknowledgements

##### Teşekkür

The authors wish to acknowledge Dr. Murat Tomakin for optical and electrical measurements.

#### Author contribution

##### Yazar Katkısı

Ali ÇİRİŞ: Conceptualization, Methodology, Writing - original draft, Writing - review & editing.  
Mehmet Ali OLGAR: Conceptualization, Methodology, Writing - original draft, Writing - review & editing.

#### Declaration of ethical code

##### Etik beyanı

The article authors declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

#### Conflicts of interest

##### Çıkar çatışması beyanı

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

#### References

##### Kaynaklar

- Arepalli, V. K., & Kim, J. (2018). Effect of substrate temperature on the structural and optical properties of radio frequency sputtered tin sulfide thin films for solar cell application. *Thin Solid Films*, 666, 34-39. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2018.09.009>
- Arepalli, V. K., Shin, Y., & Kim, J. (2018). Influence of working pressure on the structural, optical, and electrical properties of rf-sputtered snS thin films. *Superlattices and Microstructures*, 122, 253-261. <https://doi.org/10.1016/j.spmi.2018.08.001>
- Arepalli, V. K., Shin, Y., & Kim, J. (2019). Photovoltaic behavior of the room temperature grown rf-sputtered snS thin films. *Optical Materials*, 88, 594-600. [v10.1016/j.optmat.2018.12.016](https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.12.016)
- Baby, B. H., & Mohan, D. B. (2018). Phase optimization study of orthorhombic structured snS nanorods from ctab assisted polyol synthesis for higher efficiency thin film solar cells. *Solar Energy*, 174, 373-385. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.09.019>
- Baby, B. H., & Mohan, D. B. (2019). The effect of in-situ and post deposition annealing towards the structural optimization studies of rf sputtered snS and sn2s3 thin films for solar cell application. *Solar Energy*, 189, 207-218. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.07.059>

- Banai, R. E., Horn, M. W., & Brownson, J. R. S. (2016). A review of tin (ii) monosulfide and its potential as a photovoltaic absorber. *Solar energy materials and solar cells*, 150, 112-129. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.12.001>
- Candelise, C., Winkler, M., & Gross, R. (2012). Implications for cdte and cigs technologies production costs of indium and tellurium scarcity. *Progress in Photovoltaics*, 20(6), 816-831. <https://doi.org/10.1002/pip.2216>
- Ceylan, A. (2017). Synthesis of sns thin films via high vacuum sulfidation of sputtered sn thin films. *Materials Letters*, 201, 194-197. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2017.05.022>
- Chalapathi, U., Poornaprakash, B., Choi, W. J., & Park, S. H. (2020). Ammonia(aq)-enhanced growth of cubic sns thin films by chemical bath deposition for solar cell applications. *Applied Physics A-Materials Science & Processing*, 126(8), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s00339-020-03763-4>
- Chandrasekhar, H., Humphreys, R., Zwick, U., & Cardona, M. (1977). Infrared and raman spectra of the iv-vi compounds sns and snse. *Physical Review B*, 15(4), 2177. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.15.2177>
- Chopra, K. (1969). Thin film phenomena mcgraw-hill. *New York, 1969*, 196.
- Di Mare, S., Menossi, D., Salavei, A., Artegiani, E., Piccinelli, F., Kumar, A., Mariotto, G., & Romeo, A. (2017). Sns thin film solar cells: Perspectives and limitations. *Coatings*, 7(2), 34. <https://doi.org/10.3390/coatings7020034>
- Fairbrother, A., Fourdrinier, L., Fontané, X., Izquierdo-Roca, V., Dimitrievska, M., Pérez-Rodríguez, A., & Saucedo, E. (2014). *Rapid thermal processing of cu<sub>2</sub>zn<sub>1-x</sub>sn<sub>x</sub>se<sub>4</sub> thin films*. *14th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*. <https://doi.org/10.1109/PVSC.2014.6925390>
- Fu, H. Y. (2018). Environmentally friendly and earth-abundant colloidal chalcogenide nanocrystals for photovoltaic applications. *Journal of Materials Chemistry C*, 6(3), 414-445. <https://doi.org/10.1039/c7tc04952h>
- Gedi, S., Reddy, V. R. M., Kang, J. Y., & Jeon, C. W. (2017). Impact of high temperature and short period annealing on sns films deposited by e-beam evaporation. *Applied Surface Science*, 402, 463-468. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.01.113>
- Ghazali, A., Zainal, Z., Hussein, M. Z., & Kassim, A. (1998). Cathodic electrodeposition of sns in the presence of edta in aqueous media. *Solar energy materials and solar cells*, 55(3), 237-249. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(98\)00106-8](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(98)00106-8)
- Guang-Pu, W., Zhi-Lin, Z., Wei-Ming, Z., Xiang-Hong, G., Wei-Qun, C., Tanamura, H., Yamaguchi, M., Noguchi, H., Nagatomo, T., & Omoto, O. (1994). *Investigation on sns film by rf sputtering for photovoltaic application*. *1994 IEEE 1st World Conference on Photovoltaic Energy Conversion-WCPEC (A Joint Conference of PVSC, PVSEC and PSEC)*. <https://doi.org/10.1109/WCPEC.1994.519977>
- Guo, F. R., Guo, H. F., Zhang, K. Z., Yuan, N. Y., & Ding, J. N. (2017). Variations in structural and optoelectronic features of thermally co-evaporated sns films with different sn contents. *Thin Solid Films*, 642, 285-289. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2017.09.031>
- Gurnani, C., Hawken, S. L., Hector, A. L., Huang, R., Jura, M., Levason, W., Perkins, J., Reid, G., & Stenning, G. B. (2018). Tin(iv) chalcogenoether complexes as single source precursors for the chemical vapour deposition of sne<sub>2</sub> and sne (e = s, se) thin films. *Dalton Transactions*, 47(8), 2628-2637. <https://doi.org/10.1039/C7DT03848H>
- Hartman, K., Johnson, J. L., Bertoni, M. I., Recht, D., Aziz, M. J., Scarpulla, M. A., & Buonassisi, T. (2011). Sns thin-films by rf sputtering at room temperature. *Thin Solid Films*, 519(21), 7421-7424. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2010.12.186>
- Hasan, B. A., & Shallal, I. H. (2014). Structural and optical properties of sns thin films. *Journal of Nanotechnology & Advance Materials*(2), 43-49. <https://doi.org/10.18576/jnam>
- Jain, P., & Arun, P. (2013). Influence of grain size on the band-gap of annealed sns thin films. *Thin Solid Films*, 548, 241-246. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2013.09.089>
- Javed, A., Khan, N., Bashir, S., Ahmad, M., & Bashir, M. (2020). Thickness dependent structural, electrical and optical properties of cubic sns thin films. *Materials Chemistry and Physics*, 246, 122831. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.12.2831>
- Johnson, J. B., Jones, H., Latham, B. S., Parker, J. D., Engelken, R. D., & Barber, C. (1999). Optimization of photoconductivity in vacuum-evaporated tin sulfide thin films. *Semiconductor Science and Technology*, 14(6), 501-507. <https://doi.org/10.1088/0268-1242/14/6/303>
- Kevin, P., Lewis, D. J., Raftery, J., Malik, M. A., & O'Brien, P. (2015). Thin films of tin(ii) sulphide (sns) by aerosol-assisted chemical vapour deposition (aacvd) using tin(ii) dithiocarbamates as single-source precursors. *Journal of Crystal Growth*, 415, 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2014.07.019>



- Koteeswara Reddy, N., Devika, M., & Gopal, E. (2015). Review on tin (ii) sulfide (sns) material: Synthesis, properties, and applications. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 40(6), 359-398. <https://doi.org/10.1080/10408436.2015.1053601>
- Lee, S., Shin, S., Ham, G., Lee, J., Choi, H., Park, H., & Jeon, H. (2017). Characteristics of layered tin disulfide deposited by atomic layer deposition with h<sub>2</sub>s annealing. *AIP Advances*, 7(4), 045307. <https://doi.org/10.1063/1.4982068>
- Naidu, R., Loorits, M., Karber, E., Volobujeva, O., Raudoja, J., Maticiuc, N., Bereznev, S., & Mellikov, E. (2017). Impact of vacuum and nitrogen annealing on hve sns photoabsorber films. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 71, 252-257. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2017.08.004>
- Nair, M. T. S., Nair, P. K., & Nair, P. K. (1991). Simplified chemical-deposition technique for good quality sns thin-films. *Semiconductor Science and Technology*, 6(2), 132-134. <https://doi.org/10.1088/0268-1242/6/2/014>
- Noguchi, H., Setiyadi, A., Tanamura, H., Nagatomo, T., & Omoto, O. (1994). Characterization of vacuum-evaporated tin sulfide film for solar-cell materials. *Solar energy materials and solar cells*, 35(1-4), 325-331. [https://doi.org/10.1016/0927-0248\(94\)90158-9](https://doi.org/10.1016/0927-0248(94)90158-9)
- Norton, K. J., Alam, F., & Lewis, D. J. (2021). A review of the synthesis, properties, and applications of bulk and two-dimensional tin (ii) sulfide (sns). *Applied Sciences-Basel*, 11(5), 2062. <https://doi.org/10.3390/app11052062>
- Nwofe, P. A., Miles, R. W., & Reddy, K. T. R. (2013). Effects of sulphur and air annealing on the properties of thermally evaporated sns layers for application in thin film solar cell devices. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5(1), 011204. <https://doi.org/10.1063/1.4791784>
- Olgar, M. A., Ciri, A., Tomakin, M., & Zan, R. (2021). Impact of in/ex situ annealing and reaction temperature on structural, optical and electrical properties of sns thin films. *Journal of Molecular Structure*, 1241, 130631. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130631>
- Ortiz, A., Alonso, J. C., Garcia, M., & Toriz, J. (1996). Tin sulphide films deposited by plasma-enhanced chemical vapour deposition. *Semiconductor Science and Technology*, 11(2), 243-247. <https://doi.org/10.1088/0268-1242/11/2/017>
- Park, H. H., Heasley, R., Sun, L. Z., Steinmann, V., Jaramillo, R., Hartman, K., Chakraborty, R., Sinsersuksakul, P., Chua, D., Buonassisi, T., & Gordon, R. G. (2015). Co-optimization of sns absorber and zn(o,s) buffer materials for improved solar cells. *Progress in Photovoltaics*, 23(7), 901-908. [v10.1002/pip.2504](https://doi.org/10.1002/pip.2504)
- Patel, M., Mukhopadhyay, I., & Ray, A. (2013). Annealing influence over structural and optical properties of sprayed sns thin films. *Optical Materials*, 35(9), 1693-1699. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2013.04.034>
- Patterson, A. (1939). The scherrer formula for x-ray particle size determination. *Physical review*, 56(10), 978. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.56.978>
- Paudel, N. R., Xiao, C., & Yan, Y. (2015). Study of close space sublimation (css) grown sns thin-films for solar cell applications. *2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*. <https://doi.org/10.1109/PVSC.2015.7356115>
- Rana, T. R., Kim, S., & Kim, J. (2018). Existence of multiple phases and defect states of sns absorber and its detrimental effect on efficiency of sns solar cell. *Current Applied Physics*, 18(6), 663-666. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2018.03.024>
- Reddy, K. T. R., Prathap, P., & Miles, R. W. (2010). Thin films of tin sulphide for application in photovoltaic solar cells. *Photovoltaics: developments, applications and impact*, 37-61.
- Reddy, K. T. R., Reddy, P. P., Miles, R. W., & Datta, P. K. (2001). Investigations on sns films deposited by spray pyrolysis. *Optical Materials*, 17(1-2), 295-298. [https://doi.org/10.1016/S0925-3467\(01\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S0925-3467(01)00052-0)
- Ristov, M., Sinadinovski, G., Grozdanov, I., & Mitreski, M. (1989). Chemical deposition of tin (ii) sulphide thin films. *Thin Solid Films*, 173(1), 53-58. [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(89\)90536-1](https://doi.org/10.1016/0040-6090(89)90536-1)
- Sajeesh, T. H., Warriar, A. R., Kartha, C. S., & Vijayakumar, K. P. (2010). Optimization of parameters of chemical spray pyrolysis technique to get n and p-type layers of sns. *Thin Solid Films*, 518(15), 4370-4374. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2010.01.040>
- Shockley, W., & Queisser, H. J. (1961). Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells. *Journal of Applied Physics*, 32(3), 510-519. <https://doi.org/10.1063/1.1736034>
- Sinsersuksakul, P., Sun, L. Z., Lee, S. W., Park, H. H., Kim, S. B., Yang, C. X., & Gordon, R. G. (2014). Overcoming efficiency limitations of sns-based solar cells. *Advanced Energy Materials*, 4(15), 1400496. <https://doi.org/10.1002/aenm.201400496>

- Smith, A., Meek, P., & Liang, W. (1977). Raman scattering studies of  $\text{SnS}_2$  and  $\text{SnSe}_2$ . *Journal of Physics C: Solid State Physics*, 10(8), 1321. <https://doi.org/10.1088/0022-3719/10/8/035>
- Son, S. I., Shin, D., Son, Y. G., Son, C. S., Kim, D. R., Park, J. H., Kim, S., Hwang, D., & Song, P. (2020). Effect of working pressure on the properties of rf sputtered  $\text{SnS}$  thin films and photovoltaic performance of  $\text{SnS}$ -based solar cells. *Journal of Alloys and Compounds*, 831, 154626. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.154626>
- Sorgenfrei, T., Hofherr, F., Jauss, T., & Croll, A. (2013). Synthesis and single crystal growth of  $\text{SnS}$  by the bridgman-stockbarger technique. *Crystal Research and Technology*, 48(4), 193-199. <https://doi.org/10.1002/crat.201200484>
- Sousa, M. G., da Cunha, A. F., & Fernandes, P. A. (2014). Annealing of rf-magnetron sputtered  $\text{SnS}_2$  precursors as a new route for single phase  $\text{SnS}$  thin films. *Journal of Alloys and Compounds*, 592, 80-85. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.12.200>
- Tanuševski, A., & Poelman, D. (2003). Optical and photoconductive properties of  $\text{SnS}$  thin films prepared by electron beam evaporation. *Solar energy materials and solar cells*, 80(3), 297-303. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2003.06.002>
- Tao, C. S., Jiang, J., & Tao, M. (2013). *Natural resource limitations to terawatt-scale solar photovoltaics. 1<sup>st</sup> 2013 Twentieth International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (AM-FPD)*.
- Tauc, J., Grigorovici, R., & Vancu, A. (1966). Optical properties and electronic structure of amorphous germanium. *physica status solidi (b)*, 15(2), 627-637. <https://doi.org/10.1002/pssb.19660150224>
- Vidal, J., Lany, S., d'Avezac, M., Zunger, A., Zakutayev, A., Francis, J., & Tate, J. (2012). Band-structure, optical properties, and defect physics of the photovoltaic semiconductor  $\text{SnS}$ . *Applied physics letters*, 100(3), 032104. <https://doi.org/10.1063/1.3675880>
- Wang, W., Chen, G., Cai, H., Chen, B., Yao, L., Yang, M., Chen, S., & Huang, Z. (2018). The effects of  $\text{SnS}_2$  secondary phases on  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  solar cells: A promising mechanical exfoliation method for its removal. *Journal of Materials Chemistry A*, 6(7), 2995-3004. <https://doi.org/10.1039/C7TA08242H>
- Zainal, Z., Hussein, M. Z., & Ghazali, A. (1996). Cathodic electrodeposition of  $\text{SnS}$  thin films from aqueous solution. *Solar energy materials and solar cells*, 40(4), 347-357. [https://doi.org/10.1016/0927-0248\(95\)00157-3](https://doi.org/10.1016/0927-0248(95)00157-3)
- Zakutayev, A. (2017). Brief review of emerging photovoltaic absorbers. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2017.01.002>
- Zayed, J., & Philippe, S. (2009). Acute oral and inhalation toxicities in rats with cadmium telluride. *Int J Toxicol*, 28(4), 259-265. <https://doi.org/10.1177/1091581809337630>
- Zhan, X. P., Shi, C. W., Shen, X. J., Yao, M., & Zhang, Y. R. (2012). *Preparation of SnS thin films by close-spaced sublimation at different source temperatures. 1<sup>st</sup> Advanced Materials Research*. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.590.148>
- Zhao, L. B., Di, Y. X., Yan, C., Liu, F. Y., Cheng, Z., Jiang, L. X., Hao, X. J., Lai, Y. Q., & Li, J. (2016). In situ growth of  $\text{SnS}$  absorbing layer by reactive sputtering for thin film solar cells. *RSC advances*, 6(5), 4108-4115. <https://doi.org/10.1039/c5ra24144h>

## Çimlendirilme ortamına göre brokoli filizinin in vivo etkisinin belirlenmesi

*Determination of in vivo effect of broccoli sprouts according to germination environment*

**Eda GÜNEŞ<sup>\*1,a</sup>, Hatice Kübra ERÇETİN<sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, 42300, Konya

<sup>2</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Anabilim Dalı, 423000, Konya

• Geliş tarihi / Received: 03.08.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 22.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 31.01.2022

### Öz

Çalışmada fonksiyonel ve antioksidan özelliklerinden dolayı beslenmede kullanılan brokoli filizlerinin, çimlendirme ortamına göre kullanımları ve canlılar üzerinde etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla model organizma *Drosophila melanogaster* standart besini (kontrol), metal elek (BM) ve plastik eleklerde çimlendirilen (BP) brokoli filizleri standart besine %30 oranında eklenerek yaşama-gelişim, eşey oranı, ağırlık ve yumurta verimi hesaplanmıştır. Beslenmede kullanılan deney gruplarından BP ile beslenmeye devam edilen ergin bireylerde (larva ve pupalar hariç) ve BM ile beslenen bireylerin yaşama oranını azaltmış, gelişme süresini önemli miktarda uzatmıştır. BP'nin yumurta verimi ve ağırlığı artırarak BM'ye oranla daha kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Brokoli gibi çimlenen ürünlerde bulunan fenolik bileşenlerin çimlenme süresinde artması böceği olumlu etkilerken, çimlenme ortamı olarak kullanılan maddelerden metal geçişi nedeniyle sineklerin olumsuz etkilenebilecekleri tespit edilmiştir. Bu çalışma ile çimlendirilen ürün ve çimlendirme ortamının sadece model organizma açısından değil insan beslenmesinde de kullanımında dikkatli olunması gerektiği düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Brokoli filizi, *Drosophila*, Gelişme süresi, Yaşama oranı, Yumurta verimi

### Abstract

*In this study, it was aimed to determine the use of broccoli sprouts used in nutrition due to their functional and antioxidant properties, according to the germination medium and their effects on living things. For this purpose, life-development, sex ratio, weight and egg yield were calculated by adding 30% of the standard food of the model organism *Drosophila melanogaster* (control), broccoli sprouts germinated in metal sieve (BM) and plastic sieves (BP) to the standard food. Among the experimental groups used in nutrition, it decreased the survival rate of adults (except for larvae and pupae) and individuals fed with BP and prolonged the development period significantly. It has been determined that BP is more usable than BM by increasing egg production and weight. While the increase in the phenolic components in germinating products such as broccoli during the germination period affects the insect positively, it has been determined that the flies can be adversely affected due to metal transfer from the substances used as germination media. With this study, it is thought that care should be taken not only in terms of model organism but also in the use of the germinated product and germination medium in human nutrition.*

**Keywords:** Broccoli sprout, *Drosophila*, Development time, Survival rate, Egg fecundity

<sup>\*a</sup> Eda GÜNEŞ; egunes@erbakan.edu.tr, Tel: (0332) 325 1147, orcid.org/0000-0001-7422-9375

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-7935-4052

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Uzak Doğu'da ortaya çıkan tohum filizlerinin tüketimi; başta buğday, nohut, mercimek, fasulye, arpa, karabuğday, amarant ve kinoa gibi tahıllar olmak üzere, baklagiller yaygın bir biçimde çimlendirilerek birçok mutfak kültüründe kullanıldığı bilinmektedir (Efliyok & Bozokalfa, 2002). Son yıllarda katkısız, doğal, besleyici ve sağlıklı gıdalara yönelim batı dünyasında oldukça yaygınlaşmıştır (Finnie vd., 2019). Tohumların çimlendirilmesi ile besin içeriğinde önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Çimlenme sırasında anti besinsel bazı bileşikler, serbest amino asitler-proteinler, besinsel lif ve fonksiyonel özelliklere ek sindirilebilirlik artarken; karbonhidrat, yağ miktarını ve glisemik indeksi azalabilmektedir (Okur & Madenci, 2019). Oluşan bu değişikliklerin beslenme önemli olup vitamin, mineral, enzimler ve antioksidan maddelerin bazı hastalıklara karşı da koruyucu etki oluşturduğu bilinmektedir (Kılınçer & Demir, 2019). Günümüzde en çok yonca, soya fasulyesi ve brokoli gibi ürünlerin kullanımı dikkat çekmektedir. Brokoli (*Brassicaceae* veya *Cruciferae*), çimlendirilerek tüketilen bitkisel ürünler içerisinde fonksiyonel özelliklerinden dolayı önemli bir kaynak olarak görülmektedir (Yetim vd., 2010). İçeriğinde antioksidan özelliğe sahip selenyum elementi ve antikanserojenik özellik taşıyan izotiyosiyanat gibi bileşikler bulundurmasından dolayı sağlıklı gıdalar arasında değerlendirilmektedir (Vig vd., 2009).

Tohumların çimlenebilmesi için su, oksijen, sıcaklık ve ışık gibi belirli şartların olması gerekmektedir. Nem ve sıcaklık, en önemli kriterler arasında sayılmaktadır. Çimlendirme işlemi, toprak altı ile benzer koşullar sağlanarak gerçekleştirilmektedir. Bu işlem genellikle modern iklimlendirme kabinlerinde yapılmakta olup, evde basit yöntemlerle de uygulanabilmektedir (Akgün, 2018a). Çimlendirme işlemi uygulanmış tohumlar genellikle "filiz" olarak adlandırılmaktadır. Çalışmalarda ıslatma ve çimlendirme uygulamaları için suyun tercih edildiği bildirilmiştir (Finnie vd., 2019). Çünkü tohumlar su aldıkça, solunum, protein sentezi ve diğer biyokimyasal olaylar oluşmaya başlamaktadır. Tohumların çimlenmesi esnasında su alması canlılığı sağlayarak enzimlerini aktifleştirmekte; tüketilebilirliğin belirteci olarak, katalaz, peroksidaz, fenolaz ve dehidrogenaz miktarları değişmektedir (Akgün, 2018b). Aynı zamanda fitik asiti parçalayabilen fitaz enzimi gibi yapıların gıdada bulunması, sindirilebilirliği

olumlu (Demir, B2, C ve E vitamini içeriklerinde ve antioksidan aktivitesi) ya da olumsuz (çinko, demir, kalsiyum, magnezyum ve bakır gibi minerallerin, protein emilimi) yönde etkilediği için çimlenen ürünler tercih edilir hale gelmiştir (Okur & Madenci, 2019; Kusvuran, 2021).

Çimlendirme gibi pişirme ve depolama süreci de birçok faktörden etkilenmektedir. Pişirme ve depolama koşulları süresince kullanılan gıda ekipmanlarının içeriğine göre ağır metal gibi maddelerin geçişinin olduğu da bilinmektedir (Teyin & Nizamlihoğlu, 2020). Genel olarak madde geçişi alüminyum ve demir gibi ekipmanlarda daha yüksek seviyede iken, depolama esnasında adsorbsiyona bağlı madde geçişinin pişirmeye kıyasla daha düşük seviyelerde olduğu söylenebilir (Ogidi vd., 2017). Sağlık açısından alüminyum, demir, plastik gibi kaplarda geçiş gıda türüne göre farklılık göstermektedir: İzin verilen miktar ülkelere göre değişmekte olup minimum 0.02-1.00 mg/kg aralığında olması gerekmektedir (Türk gıda kodeksi gıda maddelerindeki bulaşanların maksimum limitleri hakkında tebliğ, 2008). Bu geçiş sadece pişirmede ve saklamada uygulamalarında olduğu gibi çimlendirme esnasında da oluşabilmektedir. Çimlenme sırasında kullanılan kapların türüne göre yapılarında bulunan bileşenler nedeniyle Bisferol A salınımı ve metal toksisitesi gibi etkiler oluşabilmektedir (Özkutlu, 2021; Saxena vd., 2021). Bu yüzden gıdaların uygun ortamda çimlendirilmesi gerekmektedir.

Beslenme çalışmalarında besinlerin hedef/hedef olmayan canlılar üzerinde sağlık açıdan etkisi çeşitli şekillerde modellenmeler ile çalışılmakta, böylece olası tahminler üzerinden çıkarımlar yapılmaktadır (Güneş & Danacıoğlu, 2018). Kısa gelişme biyolojisine sahip ve sindirim modeli olarak kullanılan *Drosophila melanogaster* (Meigen), besin içeriği değiştirilerek tüketime bağlı; yaşama-gelişme, ömür uzunluğu, cinsiyet ve cinsiyete göre farklılıklar, serbest radikaller ve antioksidan sistemin etkisi gibi birçok çalışmada kullanılan bir canlıdır (Çetinkaya & Yurtsever, 2021).

Böcekler bir maddenin letal ya da subletal dozlarına veya konsantrasyonlarına maruz kaldıkları zaman hayatta kalan bireylerde ya da popülasyonlarda birçok fizyolojik, demografik ya da davranışsal etkiler görülmektedir (De Franca vd., 2017). Bu etkiler; yaşam süresi, gelişme oranları, popülasyon büyüklüğü, fertilité, yumurta verimi, eşey oranları ve davranışlarda değişiklikler, deformasyonlar, besin ve ovipozisyon alanları arama, beslenme ve ovipozisyon süresinde

kısaltmalar şeklinde ortaya çıkabilmektedir (Kaydan & Sulanç, 2020). Organizmanın beslenmesi ile ilişkili olan faktörler, bireylerin bir sonraki kuşağa verimli döl aktarımını ve eşeyli seçilimini de önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca beslenmeye bağlı canlıların vücut büyüklüğü; dişinin yumurta üretim potansiyelini, eşleşme başarısını ve ömür uzunluğunu belirlediği için önemli bir uyum bileşeni olarak kabul edilmektedir (Şahin & Keçeci, 2021). Çalışmada, farklı ortamda çimlendirilmiş brokoli filizinin canlı ağırlığı, yaşama-gelişim ve yumurta verimi açısından fonksiyonel etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

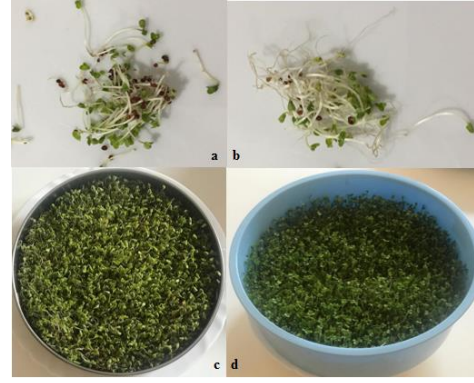
## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

#### 2.1. Materyal ve böcek kültürü

##### 2.1. Material and insect culture

Ticari olarak 2019 yılında temin edilen Brokoli tohumu (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) iki farklı ortamda çimlendirilerek deney düzeneğine eklenmiştir. Deneylerde kullanılan sinek White tip (*D. melanogaster*; W<sup>1118</sup>) olup: Şeker, patates püresi, agar ve mayadan oluşan standart besin (SB) içerisinde 2014'ten beri kültüre edilmektedir. Sinek kültürü 25 ± 1°C ve 50%-60% nem olan 12/12 ışık/karanlık döngüsü bulunan inkibatörde (Nüve ES120) koşullarında yetiştirilmektedir. Brokoli tohumu çimlenmeleri için 24 saat suda ıslatılıp süzöldükten sonra metal (BM) ve plastik (BP) eleklerde üstü kapalı ve karanlık bir ortama bırakılmıştır (Şekil 1). Çimlenmeye başlayan bitkiler küflenmemeleri için 5 gün sonunda boyları 10-20 mm civarında olduklarında hasat edilmiştir (Yetim vd., 2010). Yapılan önceki çalışmalar temel alınarak 2 gr/100 ml BM ve BP sıvı azot kullanılarak havanda ezilmiş, soğumaya başlayan 25 ml SB'nin %30'u kadar ilave edilmiştir (Baenas vd., 2016). Böylece deneme desenine ait 3 beslenme grubu oluşturulmuştur (SB, BM, BP): Birinci grup olan kontrol grubunda sadece 25 ml SB varken, ikinci grup olan BM grubunda BM'de çimlendirilen filizlerden %30 oranında SB'ne eklenmiş, BP grubu olan üçüncü grupta ise BP'de çimlendirilen filizlerden %30 oranında SB'ne eklenerek oluşturulmuştur. Deneylerde kontrol grubu olarak SB'li bir grup da dahil edilmiş, ayrıca besinler 3-4 günde bir tazelenmiştir.



**Şekil 1.** Farklı ortamda çimlendirilen brokoliler: Metal kapta (a-b), Plastik kapta (c-d).

**Figure 1.** Broccoli germinated in different media: In metal pot (a-b), in plastic pot (c-d).

#### 2.2. Deneme deseni

##### 2.2. Trial pattern

Aynı yaşta bireyler elde edilerek deneye başlanması için kültürden 25 erkek/ 25 dişi alınmış, bir gün boyunca çiftleşmeleri için 25 ml SB bulunan şişeye alındıktan sonra bireyler yumurtlamalarını takiben morga alınmışlardır. Yumurtlamadan sonraki 24 saat içerisinde ilk larvalar toplanarak her bir deney şişesi için 100 adet birinci evre larvası deneme desenine aktarılmıştır.

#### Böceğin yaşama süresi ve gelişim oranı analizi:

Deney tüplerindeki larvalar 12 saatte bir kontrol edilerek üçüncü evreye ulaşma süresi (ortalama gelişme süresi: toplam üçüncü evre larvalarının besin yüzeyinde görüldüğü gün-birinci evre larvalarının besine görüldüğü gün/ toplam larva sayısı) ve yaşama oranı (aşılana birinci evre larvalarının üçüncü evreye ulaşan toplam larva sayısına oranı, %) raporlanmıştır (Ortalama gün sayısı: -ekim günü 3. evreye ulaşan larva sayısı; yaşama oranı: aşılana larva sayısına üçüncü evreye ulaşan toplam larva sayısına oranı %). Gözlemler bütün pupa ve yetişkin bireylerin yaşama oranı ve gelişim süresi için de larvada olduğu gibi yapılmıştır.

#### Eşey oranı ve böcek ağırlıkları (mg/birey):

Erginleşen bireylerin mikroskop altında cinsiyet tayini yapılarak yüzdelik oranları hesaplanmıştır. Dişi ve erkek bireylerin ağırlıklarının hesaplanmasında, yetişkin olduktan bir gün sonrasında soğuk anestezi altında baş ve vücut ağırlıkları (toplam vücut) beşli gruplar halinde 1 µg hassasiyetle dijital terazide tartılarak birey sayısına bölünmüştür (Halmenschelager & Rocha, 2019).

Dişi bireylerin yumurta verimi (toplam yumurta/gün/dişi): Yumurta verimi için deneme deseni ile erginleştirilen bakire dişiler (her grup için 20 adet) 2 gruba ayrılmış; bir grup sürekli aynı sayıda erkekle çiftleştirilirken, diğer grup çiftleştirilmemiş, günlük iki grubun da yumurtaları sayılarak bireyler yeni tüpe aktarılmıştır. Bu işlem 10 gün boyunca devam edilmiştir. Dişi sinek başına düşen yumurta verimi için sayılan toplam yumurta/toplam gün/dişi sayısına göre hesaplama yapılmıştır.

### 3. Bulgular

#### 3. Results

Brokoli filizi ile beslenen *D. melanogaster*'in yaşama süresi, gelişim ve eşey oranına etkisi

**Tablo 1.** Brokoli ile beslenen *D. melanogaster* larvalarının yaşama süresi, gelişim ve eşey oranına etkisi  
**Table 1.** The effect of *D. melanogaster* larvae fed with broccoli on life span, development and sex ratio

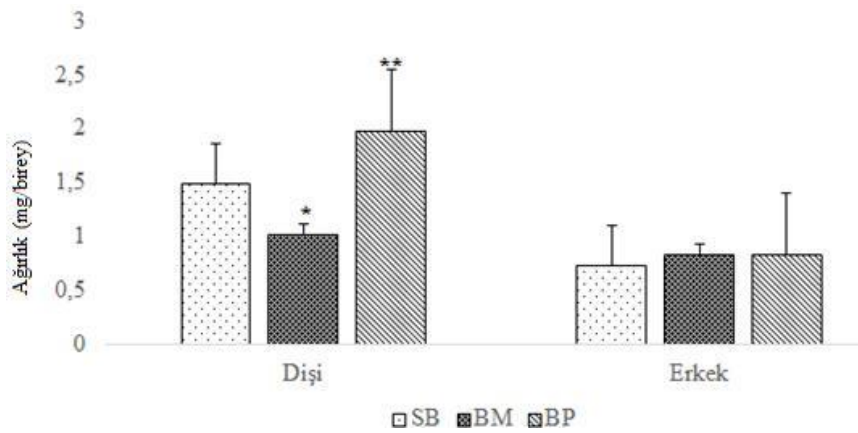
gr/L	3.evreye ulaşan larva oranı (%) (Ort. ± S.H)†	3.evreye ulaşma süresi (gün) (Ort. ± S.H)†	Pup olma oranı (%) (Ort. ± S.H)†	Pup olma süresi (gün) (Ort. ± S.H)†	Ergin olma oranı (%) (Ort. ± S.H)†	Ergin olma süresi (gün) (Ort. ± S.H)†	Eşey oranı (%) Dişi /Erkek (Ort.± S.H)†
SB	100 ± 0.86*	4.2 ± 0,08*	90 ± 0.86**	5.4 ± 0.17*	90 ± 0.86*	9.0 ± 0.08*	55/45 ± 0.8/0.8*
BM	96 ± 0.86*	8.1 ± 0,12**	84 ± 0.86*	9.5 ± 0.08**	60 ± 0.86***	13.8 ± 1.16**	50/50 ± 0.8/0.8*
BP	100 ± 0.86*	9.2 ± 0,08***	100 ± 0.86***	11.2 ± 0.08***	70 ± 0.86**	15.3 ± .12***	28/72 ± 0.8/0.8**

Ort. : Dört tekrarın ortalaması, her bir tekrar için 100 larva kullanıldı. †Aynı sütunda aynı \* değerler birbirinden farklı değildir; \*, \*\*, \*\*\*'dan istatistiki olarak farklıdır (p< 0.05); df=11; p<0.05 (Duncan testi, LSD Testi); SB Kontrol besini; BM metal elekte çimlendirilen brokoli ile besleme; BP plastik elekte çimlendirilen brokoli ile besleme; S.H. standart hata.

Brokoli filizleri BM ve BP kaplar içerisinde çimlendirildi; bu filizler ile beslenen dişi ve erkek bireylerin ağırlıkları Şekil 2'de görülmektedir. BP ile beslenen dişi bireylerin kontrole kıyasla daha ağır oldukları gözlemlenmiştir (1.97±0,01;

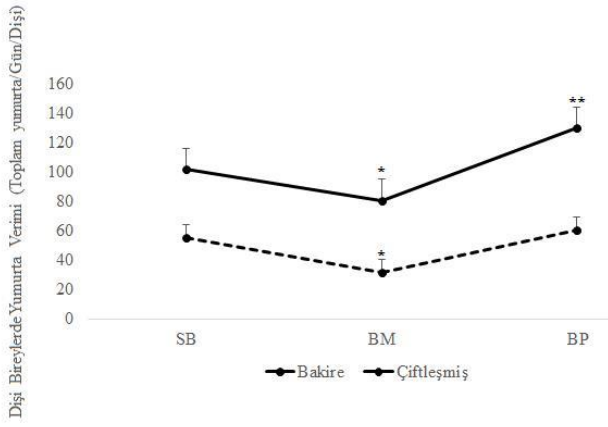
incelendiğinde BP ile beslenen canlıların larval gelişimlerinin BM ile beslenen bireylere oranla normale daha yakın olduğu görülmüştür (%100; F=4.76, Tablo 1). Beslenme materyaline bağlı olarak pup olma oranı en düşük BM ile beslenen bireylerde olduğu, ergin olmada ise yine aynı grupta en az yaşama oranına sahip olduğu belirlenmiştir (sırasıyla %84 ve %60). Gruplar arasındaki gelişim süreleri kıyaslandığında BP ile beslenen bireyler yaklaşık 15 günde erginleşerek diğer gruplara oranla daha uzun sürede gelişme göstermişlerdir (SB<BM<BP). Eşey oranları dikkate alındığında BP ile beslemenin cinsiyet oranlarını kontrolün tersi şekilde değiştirerek etkili olduğu söylenebilir (Tablo 1, p<0.05; F=4.76).

p<0.05). Erkek bireylerin ağırlıklarında ise uygulamalarda istatistiki olarak bir miktar artış olduğu, fakat kaplar arasında farklılık olmadığı söylenebilir.



**Şekil 2.** Böcek ağırlıkları (Şekilde istatistiki farklılıklar gösterilmiş olup; \* ve \*\* birbirinden farklıdır (p< 0.05))

**Figure 2.** Insect weights (Statistical differences are shown in the figure; \* and \*\* are different from each other (p< 0.05)).



**Şekil 3.** Dişi bireylerde yumurta veriminin zamana göre değişimi (Şekilde sadece istatistiki farklılıklar belirtilmiş olup; \* ve \*\* birbirinden farklıdır ( $p < 0.05$ ))

**Figure 3.** Variation of egg production according to time in female individuals (Only statistical differences are indicated in the figure; \* and \*\* are different from each other ( $p < 0.05$ ))

Bakire dişiler ortalama  $60.5 \pm 0.01$  yumurta bırakırken BP ile beslenen bireylerin benzer sonuçlara sahip olduğu, fakat BM'nin yumurta verimini azalttığı belirlenmiştir ( $31.5 \pm 0.02$ ;  $p < 0.05$ ). Brokoli filizleri ile beslenen çiftleşmiş dişi bireyler kontrole kıyasla 1,2 kat yumurta veriminin arttığı, BM'de ise 1,2 kat azaldığı belirtilmiştir (Şekil 3). Yumurta verimi için çiftleşmiş ve BP ile beslemenin verimini arttırdığı söylenebilir ( $p < 0.05$ ).

#### 4. Tartışma

##### 4. Discussion

Çimlendirilmiş brokoli filizi; amino asitler, protein ve antioksidanlar, kalsiyum, magnezyum, fosfor, demir, potasyum ve çinko gibi mineraller, A, B, C, E ve K vitaminler açısından kaliteli bir besin kaynağıdır (Ohanenye vd., 2020). Bu bağlamda, son yıllarda filizler, fonksiyonel özellikleri nedeniyle tüketicilerin ilgisini çekmiş ve sağlıklı bir gıda olarak popülerlik kazanmıştır. Ayrıca tohum filizleri zengin besinsel içeriği nedeniyle sağlık açısından önemli görülen gıdalardandır (Sahai & Kumar, 2020). Literatürlerde 3-7 günlük brokoli tohum filizlerinin ışıktaki üretilerek kullanılması (Moreno vd., 2010) aynı yöntem uygulanarak farklı çimlenme ortamı etkilerinin gözlenmesi çalışmamıza yön vermiştir. Çünkü ışıktaki çimlenen filizlerin yüksek düzeyde C vitamini (%83), glukozinotlar (%33) ve fenolik bileşikler (%61) içeriğine sahip olarak oksidatif strese karşı da önemli bir koruma oluşturduğu düşünülmektedir (Gawlik-Dziki vd., 2012). C vitamini meyve sineğinin beslenmesinde olmazsa

olmazlar arasındadır. Beslenmede C vitamini yetersizliği larval gelişimde ve üreme veriminde düşüşe neden olmaktadır (Rockstein, 2012). Depolamada kullanılan malzemenin C vitamini etkisi; metal kutularda saklanan meyve sularının askorbik asit miktarında oluşan kayıpların plastik kutulardaki meyve sularının askorbik asit miktarında oluşan kayıplardan daha az olduğu bilinmektedir (Bozkurt, 2014). Çalışmada BM ile beslenen bireylerde yaşama oranı azalırken (%60) gelişme süresinin yaklaşık 4 gün uzadığı, BP ile beslenen bireylerde ise yaşama oranı SB'ne kıyasla önemli derecede azalırken BM'ye kıyasla bu oranın arttığı (%70) gelişme süresinin ise 15 gün kadar uzun bir süreye yayıldığı belirlenmiştir (Tablo 1). Çünkü BP'nin canlı metabolizmasını BM'ye oranla daha fazla etkilediği düşünülmektedir. Plastik kaplar ile beslenme uygulanan araştırmalarda plastiğin; farelerde bağışıklık sistemini etkilemesi (Frick vd., 2006), solucanları strese sokması ve bu sebeple enzim aktivitesini artırması, solucanların bağırsaklarında histopatolojik zararlara sebep olması gibi sonuçlar çalışmada BP'nin etkilerini desteklemektedir (Rodriguez-Seijo vd., 2017). Fakat depolama kaplarında bulunan alüminyumun böceklerin bağışıklık sistemini baskılayarak gelişimi olumsuz etkilediği, ağırlık ve eşey oranında değişikliğe neden olmadığı bilinmektedir (Özalp vd., 2020). Brokolide her ne kadar böcek gelişimi açısından yararlı olan E ve C vitamini fazla olsa da: alüminyum-çinko-selenyum gibi bileşikler toksik etki gösterebilmekte, sinekler ise çinko ve selenyuma karşı direnç oluşturabilmektedir (Suslow & Cantwell, 2010).

Üretim ve depolama esnasında süre, ortam ve temas edilen maddelerin etkisi ile gerçekleşen buharlaşma ve solunum gibi metabolik işlevler gıdanın içeriğini değiştirerek vitamin, antioksidan ve mineral kayıplarına sebep olmaktadır (Rubim vd., 2013). Çalışmada BP ile beslenen dişi bireylerde ağırlık artışı görülürken, BM ile beslenen bireylerde ise tersi etki belirlenmiştir (Şekil 2). Ağırlık artışının/azalışının sebebi BM'nin böcek besinin geçişinin beslenmeyi olumsuz yönde etkilemesi ve böceklerin besinden kaçınmasından dolayı olabileceği düşünülmektedir. Besin içeriği ve depolanma koşulları *Drosophila*'nın maksimum vücut ve yumurtalık boyutunu değiştirebilmektedir (Rodrigues vd., 2015).

Canlıların yaşam boyu ve günlük yumurta verimi, dişinin yaşı ve yaşlanma hızı, ömür uzunluğu ve yumurtlaya bildiği gün sayısı gibi etkenlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Güneş &

Danacıoğlu, 2018) Çalışmada kontrole kıyasla çiftleşen ve çiftleşmeyen bireylerde BP ile besleme benzer olarak yumurta verimini arttırmış, BM ise verimi azaltmıştır (Şekil 3). Dört çeşit çimlendirilmiş pirinç ile kek yapılmış, *D. melanogaster* üzerinde antioksidan ve mutajenik etkisi test edilmiş; örneklerin çoğunun mutajenik olmadığı, kullanılan tatlıda, çoklu doymamış yağ asit içeriğinin yüksek olması organizmada serbest radikal oluşumuna sebep olabileceği ifade edilmiştir (Kaewchum & Kangsadalampai, 2011). Çeşitli metaller ve kimyasal uygulamaları yumurta sarısı proteinlerinden olan vitellojen sentezinin engellenmesinden dolayı *D. melanogaster*'de yumurta veriminde azalmaya sebep olmaktadır (Morefield vd., 2005). Plastik ve metal kapların canlı eşey oranına etkisi incelendiğinde, BP ile beslenen erkek bireyler lehine olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 1). Anne beslenmesinin yavrulara etkisinden dolayı BM'nin dişi bireylerde daha fazla etki gösterdiği düşünülmektedir (dişi<erkek) (George & Jacobs, 2019). Yumurta veriminin de değişmesi çalışma verilerinin birbirini destekler nitelikte olduğunu göstermektedir. Ayrıca brokolide bulunan selenyum *D. melanogaster*'in karbonhidrat oranının değişmesini sağlayarak, yumurta veriminin azalmana sebep olmaktadır. Çünkü böceğin karbonhidrat miktarı fazla olduğunda yumurta veriminin arttığı bilinmektedir (Rodrigues vd., 2015). Ayrıca brokolide bulunan alüminyum gibi metaller sineğin yumurta veriminde değişime sebep olması bu çalışma ile benzerlik göstermektedir (Ayar vd., 2012). Ortamda bulunan ve depolama amacıyla kullanılan metaller *Drosophila* eşey oranına etkisi farklı olabilmektedir (Karataş & Bahçeci, 2010). Bireyler arasında gözlenen bu farklılık çevresel faktörler, kimyasallar ve besin içeriğinin cinsiyetler üzerinde bıraktığı etkiye bağlı olarak değişmektedir (Koç & Gülel, 2006). BP ile beslenen dişilerin yumurta verimi ve yaşama gelişimin ilk evrelerinde görülen olumlu etkinin brokolide bulunan fenolik bileşenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü brokolinin çimlendirilmesi ile flavonoid içeriğinin 2-3 kat ve glukozinolat içeriğinin 2 kat azaldığı; fenolik asit içeriklerinin 2-6 kat arttığı; fenolik bileşenler böceğin aldığı toksik etkiyi engellenmiş olabilir (Pérez-Balibrea vd., 2011). Fakat BM ile metal geçişi nedeniyle olumsuzluğun azaltılması sağlanamamıştır.

## 5. Sonuçlar

### 5. Conclusions

Tohum filizleri beslenmede fonksiyonel özellikleri ve antioksidan olarak kullanımlarından dolayı

tercih edilen önemli gıda kaynaklarındandır. Canlılar üzerinde pozitif etkilerinin olduğu bilinen tohum filizlerinin, çimlendirme koşulları ve tohum özelliklerinin canlıyı nasıl etkilediği temel amacıyla yapılan çalışmada; genel olarak BM ve BP eleklere çimlendirilen brokoli, model organizmanın yaşama oranını ergin dönemde azalttığı, gelişim süresini arttırdığı, eşey oranını değiştirdiği, ağırlık ve yumurta verimi arttırdığı bulunmuştur. Deney grupları kıyaslandığında BP'nin daha kullanılabilir olduğu kanaatine varılmıştır. Fakat çimlendirilen bitkisel ürünlerin insan beslenmesinde kullanımı ile ilgili çıkarımlar yapılabilmesi için, bitkisel ürünlere metal geçişinin belirlenmesi gibi daha ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

## Teşekkür

### Acknowledgement

Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkür ederiz.

## Yazar katkısı

### Author contribution

Çalışmanın dizaynı, yazım, deneylerin yürütülmesi dahil her aşamada yazarlar tarafından ortak ve eşit katkı sağlanmıştır.

## Etik beyanı

### Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

## Çıkar çatışması beyanı

### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## Kaynaklar

### References

- Akgün, İ., Ayata, R., & Karaman, R. (2018a) Buğday (*Triticum aestivum* L.) çim suyunun tohum çimlenmesi üzerine etkisi. *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1(4), 19-24.
- Akgün, İ., Ayata, R., Karaman, R., & Karaca, G. (2018b). Effect of wheatgrass (*Triticum aestivum* L.) juice on seedling growth and rhizoctonia solani on corn. *Scientific Papers Series A. Agronomy*, 61(1), 149-154.



- Ayar, A., Uysal, H., Altun, D., & Semerdöken, S. (2012). Bir çeşit adjuvan olan potasyum alümin *Drosophila melanogaster* (meyve sineği)'in yumurta verimi ve çeşitli gelişimsel özellikleri üzerine etkisi. *Tübbav Bilim Dergisi*, 5(1), 1-8.
- Baenas, N., Piegholdt, S., Schloesser, A., Moreno, D. A., García-Viguera, C., Rimbach, G., & Wagner, A. E. (2016). Metabolic activity of radish sprouts derived isothiocyanates in *Drosophila melanogaster*. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(2), 251. <https://doi.org/10.3390/ijms17020251>
- Bozkurt, D. (2014). *Soğuk plazma uygulamasının vitaminler ve polifenol oksidaz (pfo) enzimi aktivitesi üzerine etkisi*. [Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Çetinkaya, A. Y., & Yurtsever, S. (2021). Somatic mutations and recombination test in *Drosophila melanogaster* used for investigating the genotoxicity of some food additives. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 5(1), 65-73. <https://doi.org/10.31015/jaefs.2021.1.9>
- De França, S. M., Breda, M. O., Barbosa, D. R. S., Araujo, A. M. N., & Guedes, C. A. (2017). The sublethal effects of insecticides in insects. In: V.D.C. Shields (Ed.), *Biological Control of Pest and Vector Insects*, IntechOpen, London, (pp. 23-39).
- Efliyok, D., & Bozokalfa, M. K. (2002). Sebze olarak kullanılan çimlendirilmiş tohumlar. *Dünya Gıda Dergisi*, 6, 84-88.
- Frick, C., Dietz, A. C., Merritt, K., Umbreit, T. H., & Tomazic-Jezic, V. J. (2006). Effects of prosthetic materials on the host immune response: evaluation of polymethyl methacrylate (pmma), polyethylene (pe), and polystyrene (ps) particles. *Journal of Long-Term Effects of Medical Implants*, 16(6), 423-433. <https://doi.org/10.1615/JLongTermEffMedImplants.v16.i6.20>
- Finnie, S., Brovelli, V., & Nelson, D. (2019). Sprouted grains as a food ingredient. In *Sprouted Grains* (pp. 113-142). AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811525-1.00006-3>
- Gawlik-Dziki, U., Jeżyna, M., Świeca, M., Dziki, D., Baraniak, B., & Czyż, J. (2012). Effect of bioaccessibility of phenolic compounds on in vitro anticancer activity of broccoli sprouts. *Food Research International*, 49(1), 469-476. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.08.010>
- George, J., & Jacobs, H. T. (2019). Minimal effects of spargel (PGC-1) overexpression in a *Drosophila* mitochondrial disease model. *Biology Open*, 8(7). <https://doi.org/10.1242/bio.042135>
- Güneş, E., & Danacıoğlu, D. A. (2018). The effect of olive (*Olea europaea* L.) phenolics and sugar on *Drosophila melanogaster*'s development. *Animal Biology*, 68(4), 367-385. <https://doi.org/10.1163/15707563-17000162>
- Halmenschelager, P. T., & Da Rocha, J. B. T. (2019). Biochemical cuso 4 toxicity in *Drosophila melanogaster* depends on sex and developmental stage of exposure. *Biological Trace Element Research*, 189(2), 574-585. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1475-y>
- Kaewchum, R., & Kangsadalampai, K. (2011). Effect on urethane induced mutagenicity in *Drosophila melanogaster* of different germinated unpolished rice and the thai desserts made from them. *Thai Journal of Toxicology*, 26(2), 71-71.
- Karataş, A., & Bahçeci, Z. (2010). Sodyum arsenit ve krom klorürün (iii) *Drosophila melanogaster*'in eşey oranı ve bazı gelişimsel özellikleri üzerine etkileri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 26(2), 102-111.
- Kaydan, B. N., & Sulanç, M. (2020). Farklı kadmiyum ve kurşun oranlarının ergin *Pimpla turionellae* L.(Hymenoptera: ichneumonidae)'nin yumurta üretimi ve açılımı üzerine etkileri. *Karaelmas Science & Engineering Journal*, 10(2), 142-150. <https://doi.org/10.7212/zkufbd.v10i2.1566>
- Kılınçer, F. N., & Demir, M. K. (2019). Çimlendirilmiş Bazı Tahıl ve Baklagillerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. *Gıda*, 44(3), 419-429. <https://doi.org/10.15237/gida.GD19019>
- Koç, Y., & Gülel, A. (2006). Fotoperiyot ve besin çeşidinin *Drosophila melanogaster meigen*, 1830 (Diptera: Drosophiladae) un gelişim süresi, ömür uzunluğu, verim ve eşey oranına etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(2), 204-212.
- Kusvuran, S. (2021). Microalgae (*Chlorella vulgaris* beijerinck) alleviates drought stress of broccoli plants by improving nutrient uptake, secondary metabolites, and antioxidative defense system. *Horticultural Plant Journal*, 7(3), 221-231. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2021.03.007>
- Morefield, G. L., Sokolovska, A., Jiang, D., HogenEsch, H., Robinson, J. P., & Hem, S. L. (2005). Role of aluminum-containing adjuvants in antigen internalization by dendritic cells in vitro. *Vaccine*, 23(13), 1588-1595. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2004.07.050>
- Moreno, D. A., Pérez-Balibrea, S., Ferreres, F., Güzquiedo, A., & Gare A-Viguera, C. (2010). Acylated anthocyanins in broccoli sprouts. *Food*

- Chemistry, 123, 358-363.  
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.044
- Ogidi, M., Sridhar, M. K. C., & Coker, A. O. (2017). A follow-up study health risk assessment of heavy metal leachability from household cookwares. *Journal of Food Science and Toxicology*, 1(1), 3.
- Ohanenye, I. C., Tsopmo, A., Ejike, C. E., & Udenigwe, C. C. (2020). Germination as a bioprocess for enhancing the quality and nutritional prospects of legume proteins. *Trends in Food Science and Technology*, 101, 213-222.  
https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.003
- Okur, B., & Madenci, A.B. (2019). Çiğ Beslenme (Raw Food) Akımında Çimlendirilmiş Hububat ve Baklagillerin Önemi. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 7(1), 664-675.  
https://doi.org/10.21325/jotags.2019.384
- Özalp, P., Kara., A., & Tunçsoy, B. (2020). Alüminyum oksit'in *Galleria mellonella* L.(Lepidoptera: Pyralidae) larvalarında total hemosit sayıları üzerine etkileri. *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(Suppl 1), 195-198.  
https://doi.org/10.46239/ejbcs.820690
- Özkutlu, F. (2021). Kadmiyum (cd) ve NaCl uygulamalarının brokolide (*Brassica oleracea* var. *italica*) kuru madde miktarı ve besin elementi içeriğine etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(1), 77-84.  
https://doi.org/10.30910/turkjans.712033
- Pérez-Balibrea, S., Moreno, D. A., & García-Viguera, C. (2011). Genotypic effects on the phytochemical quality of seeds and sprouts from commercial broccoli cultivars. *Food Chemistry*, 125(2), 348-354.  
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.004
- Rockstein, M. (Ed.). (2012). *Biochemistry of Insects*. Elsevier.
- Rodrigues, M. A., Martins, N. E., Balancé, L. F., Broom, L. N., Dias, A. J., Fernandes, A. S. D., & Mirth, C. K. (2015). *Drosophila melanogaster* larvae make nutritional choices that minimize developmental time. *Journal of Insect Physiology*, 81, 69-80.  
https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2015.07.002
- Rodriguez-Seijo, A., Lourenço, J., Rocha-Santos, T. A. P., Da Costa, J., Duarte, A. C., Vala, H., & Pereira, R. (2017). Histopathological and molecular effects of microplastics in *Eisenia andrei* bouché. *Environmental Pollution*, 220, 495-503.  
https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.092
- Rubim, R. F., Freitas, S. D. P., Vieira, H. D., & Gravina, G. A. (2013). Physiological quality of fennel (*Foeniculum vulgare* mill.) seeds stored in different containers and environmental conditions. *Journal of Seed Science*, 35(3), 24-28.
- Sahai, V., & Kumar V. (2020). Antidiabetic, hepatoprotective and antioxidant potential of *Brassica oleracea* sprouts. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 101623.  
https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101623
- Saxena, S., Saini, S., Samtiya, M., Aggarwal, S., Dhewa, T., & Sehgal, S. (2021). Assessment of Indian cooking practices and cookwares on nutritional security: A review. *Journal of Applied and Natural Science*, 13(1), 357-372.
- Suslow, T., & Cantwell. M. (2010). Seed sprouts produce facts. recommendations for maintaining postharvest quality. (<http://Postharvest.Ucdavis.Edu/Produce/Producefacts/Veg/Seedsprouts.Shtml>)
- Şahin, S. S., & Keçeci, M. (2021). Insektisitlerin böcekler üzerindeki subletal etkileri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 8(1), 116-124.  
https://doi.org/10.19159/tutad.774385
- Teyin, G., & Nizamlıoğlu, H. F. (2020). Mutfaklardaki ağır metal kontaminasyonları: pişirme ekipmanları (Heavy metal). *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 8(2), 1578-1591.  
https://doi.org/10.21325/jotags.2020.622
- Türk gıda kodeksi gıda maddelerindeki bulaşanların maksimum limitleri hakkında tebliğ 2008/26. (2008) *T.C. Resmi Gazete*.  
https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/05/20080517-7.htm. Erişim Tarihi: 16.05.2021
- Vig, A.P., Rampal, G., Thind, T.S., & Arora, S. (2009). Bio-protective effects of glucosinolates—a review. *LWT-Food*, 42(10), 1561-1572.  
https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.05.023
- Yetim, H., Törnük, F., Öztürk, İ., & Sağdıç, O. (2010). Yenilebilir tohum filizlerinin mikrobiyal güvenliği. *Akademik Gıda*, 8(2), 18-23.

## Yeşilirmak havzasındaki hidrolojik kuraklıkların Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen yöntemi ile trend analizi

*Trend analysis of hydrological droughts in Yeşilirmak basin by Mann Kendall and Sen Innovative Trend Analysis*

**Okan Mert KATIPOĞLU<sup>1,a</sup>, Sefa Nur YEŞİLYURT<sup>\*1,b</sup>, Hüseyin Yıldırım DALKILIÇ<sup>1,c</sup>**

<sup>1</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 24000, Erzincan

• Geliş tarihi / Received: 22.11.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 10.01.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 31.01.2022

### Öz

Bu çalışmada Yeşilirmak havzasında bulunan 7 adet akım gözlem istasyonuna ait aylık ve yıllık zaman periyodundaki akım kuraklık indekslerinin (AKİ) trend analizi yapılmıştır. Kuraklık trendlerinin ortaya çıkarılmasında Mann-Kendall (MK), Yenilikçi Şen Yöntemi (YŞY) ve Thiel Şen Yaklaşımı (TŞY) kullanılmıştır. İçsel bağımlılığı bulunan AKİ serilerine MK testi uygulanmadan önce trend-free pre-whitening (ön arındırma) işlemi ile serisel bağımlılığın etkisi kaldırılmıştır. Trend analizleri istatistiksel açıdan %1 ve %5 anlamlılık seviyelerine göre değerlendirilmiştir. Sonuç olarak hidrolojik kuraklık trendlerinin değişimini istenilen aralıkta grafiksel olarak göstermesi ve daha hassas olarak trendleri ifade edebilmesi açısından YŞY'nin MK testine göre üstün olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çalışma alanında aylık ve yıllık zaman periyotlarında artan hidrolojik kuraklık trendlerinin hâkim olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle kuraklık risklerinin yönetilmesi, kuraklığa karşı alınabilecek önlemler ve erken uyarı sistemleri gibi aksiyonların bütünlük bir şekilde uygulanması gerekmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Akım Kuraklık İndeksi (AKİ), Mann Kendall (MK), Serisel bağımlılık, Trend Analizi, Yenilikçi Şen Yöntemi (YŞY), Yeşilirmak havzası

### Abstract

In this study, trend analysis of monthly and annual streamflow drought index (SDI) of 7 streamflow gauging stations in Yeşilirmak basin was performed. The Mann-Kendall (MK), Şen Innovative Trend Analysis (ITA) and Thiel Sen Approach (TSA) methods were used to reveal drought trends. Before applying the MK test, the effect of the lag-1 serial dependence of the SDI series was eliminated with the trend-free pre-whitening (TFPW) procedure. Trend analyzes were evaluated according to statistical significance levels of 1% and 5%. As a result, it has been revealed that ITA is superior to the MK test in terms of showing the change of hydrological drought trends graphically in the desired range and expressing the trends more precisely. In addition, it has been determined that hydrological drought trends, increase in monthly and annual time periods are dominant in the study area. For this reason, actions such as managing drought risks, measures against drought and early warning systems should be implemented in an integrated manner.

**Keywords:** Streamflow Drought Index (SDI), Mann-Kendall (MK), Serial dependence, Trend Analysis, Sen Innovative Trend Analysis (ITA), Yeşilirmak Basin

<sup>\*b</sup> Sefa Nur YEŞİLYURT; sefa.yesilyurt@erzincan.edu.tr, Tel: (0537) 380 40 24, orcid.org/0000-0001-6173-3038

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0001-6421-6087

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0002-4405-9341

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Atmosferik koşullar, fiziki coğrafya faktörleri ve iklim koşulları gibi parametrelerden etkilenen ve canlı yaşamını en fazla etkileyen doğal afetlerden biri olan kuraklık, genel anlamda yağış eksikliği ya da incelenen dönemde var olan yağış miktarının normal seviyenin altına düşmesi olarak tanımlanır. Kuraklık, başlangıç ve bitişi belirsiz olan aynı zamanda hangi hızla ilerleyeceği tam olarak kestirilemeyen, kümülatif olarak artan ve aynı anda birden fazla kaynağa etki eden, bu etkiler sonucunda tarımı, ekonomiyi ve birçok alanı etkileyen bir doğa olayı olduğu için kuraklık analizi büyük öneme sahiptir. Literatürde meteorolojik kuraklık, hidrolojik kuraklık, sosyo-ekonomik kuraklık ve tarımsal kuraklık şeklinde dört temel kuraklık tipi belirtilmektedir. Meteorolojik olarak başlayan kuraklık; tarımsal ve hidrolojik kuraklık ile devam etmekte, sosyo-ekonomik boyuta geldiğinde ise etkileri görülmeye başlamaktadır. Bu nedenle kuraklık durumunun araştırılması elzemdir (Partal & Yavuz, 2020).

Kuraklık durumu kuraklık indeksleri yardımı ile incelenmektedir. Standart yağış indeksi (SYİ), Palmer kuraklık indeksi (PKİ), akım kuraklık indeksi (AKİ) gibi indekslerden yararlanılan literatürde çok sayıda çalışma yer almaktadır. İncelenen kuraklık tipine ve kullanılmak istenen verilere, indekslerin işlev ve kullanım alanlarına göre tercih yapılabilmektedir. Bu çalışmada ele alınan AKİ; hidrolojik kuraklığı değerlendiren ve akım değerleri yardımıyla hesaplanabilmesi sebebiyle diğer indislere göre daha kolay uygulanabilen, tatmin edici sonuçlar veren ve bu nedenle de sıklıkla tercih edilen bir indekstir (Jahangir & Yarahmadi, 2020; Tigkas et al., 2012; Fischer et al., 2013). Pathak et al. (2016) yaptığı çalışmada AKİ ve Standartlaştırılmış Akış İndeksi (SAİ) ile çok zamanlı hidrolojik kuraklık analizi yapılmıştır. Hong et al. (2015) çalışmalarında Çin'de AKİ yönteminden faydalanarak kuraklık değerlendirmesi yapmışlar, ayrıca örnekleme belirsizliğini incelemişlerdir. Gümüş, (2017) yaptığı çalışmada Türkiye'nin Güneyinde yer alan Asi Havzasında bulunan 52 yıllık akım verilerini kullanarak AKİ yöntemi ile kuraklık analizi yapmıştır. Ayrıca çalışmada aylık veriler yardımı ile 3,6 ve 12 aylık AKİ değerleri ile Asi Havzasının kurak ve nemli dönemlerinin şiddeti, dağılımı ve büyüklüğü belirlenmiştir. Yıldız, (2019) çalışmada Fırat havzasında yer alan 16 akım gözlem istasyonuna ait veriler yardımı ile AKİ yöntemi kullanarak kuraklık analizi yapmıştır. Çalışmada bölgedeki kuraklığın artma eğilimi gösterdiği ifade

edilmiştir. Fırat Havzasında yapılan bir başka çalışmada ise Murat Nehri çalışma alanı olarak belirlenmiş ve yine çalışmada AKİ kullanılmıştır. 1,3,6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde kuraklık durumu incelenen çalışmada kurak dönem yüzdeleri belirlenmiştir (Gümüş et al., 2018).

Kuraklık analizinin yanı sıra iklim değişiminin etkilerinin araştırılması ve alınacak önlemlerin düzeyinin belirlenebilmesi için trend analizi de büyük önem arz etmektedir. Trend analizi için parametrik-parametrik olmayan birçok analiz çeşidi bulunmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalara bakıldığında Myronidis et al. (2018) çalışmalarında 34 yıllık kayıt uzunluğuna sahip olan bir istasyon için AKİ ile kuraklık durumunu incelemişler ve indis sonuçlarını karşılaştırarak doğrulama yapmışlardır. Ayrıca çalışmada Mann-Kendall (MK) testi ile kuraklığın trendini incelemişlerdir. Gümüş vd. (2021) çalışmalarında Türkiye'nin en büyük entegre projesi olan Güneydoğu Anadolu Projesi bölgesinden seçilen 15 istasyona ait aylık toplam yağış verileri ile kuraklık analizi yapmışlar ve parametrik olmayan MK ve Mann-Kendall Sıra Korelasyon testleri ile kuraklığın trendini araştırmışlardır. Analiz öncesinde ön arındırma işlemi yapılan çalışmada bölgenin büyük çoğunluğu için azalan trend olduğu belirtilmiştir. Zhang et al. (2012) çalışmalarında Çin'in Xinjiang şehrinin kuraklık durumu incelemişler ve kuraklık trendini MK yöntemi ile belirlemişlerdir. MK testi kullanılan bir başka çalışmada ise modifiye edilmiş MK ve Şen testi ile MK testi sonuçları karşılaştırılmıştır (Tosunoglu & Kişi, 2016). Katipoğlu, (2020) Fırat havzasındaki hidrolojik kuraklık trendlerini belirlemek için AKİ değerlerini MK ve Modifiye edilmiş MK testleri ile analiz etmiştir. Çalışmanın sonucunda Fırat havzasında yaz ve sonbahar aylarında önemli azalan trendler görülmüştür. Malik et al. (2020) çalışmalarında Hindistan'ın Uttarkand Eyaleti'nde yer alan 13 meteoroloji istasyonuna ait verileri kullanarak Etkin Kuraklık İndeksi (EDI) ile kuraklık durumunu incelemişler ve trend tespiti için Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen Yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada daha farklı kuraklık tipleri ile çalışıldığında YŞY'nin MK yöntemine göre üstün olduğu vurgulanmış ve çalışmada kullanılan yöntemler de bu sonuçları doğrulamıştır. Bu üstünlüğün sebebinin ise MK yöntemiyle araştırılmayan eğilimin YŞY ile araştırılabilmesi olduğu vurgulanmıştır. Aynı şekilde MK ve YŞY kullanarak kuraklığın trendini araştıran bir başka çalışmada ise kuraklık analizi için Standardize Yağış İndeksi kullanılmıştır. Bu çalışmada da YŞY'nin Mk'dan üstün olduğu vurgulanmıştır (Caloiero et al., 2018).

Bu çalışmada Türkiye'nin önemli havzalarından biri olan Yeşilirmak Havzası'nda bulunan yedi akım gözlem istasyonu verileri kullanılarak hidrolojik kuraklıkların trendleri incelenmiştir. Hidrolojik kuraklıkların belirlenmesinde AKİ değerleri kullanılmıştır. Trendlerin belirlenmesi için en fazla kullanılan parametrik olmayan trend analizi yöntemlerinden Mann Kendall yöntemi, Şen ve Yenilikçi Şen yöntemlerine (YŞY) başvurulmuştur. Trend sonuçları istatistiksel açıdan %1 ve %5 anlamlılık seviyelerinde değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve metot

### 2. Material and method

#### 2.1. Çalışma alanı ve veri

##### 2.1. Study area and data

Kösedağ eteklerinden doğan ve çeşitli akarsularla birleşerek Çarşamba-Civa Burnu'ndan Karadeniz'e dökülen Yeşilirmak Nehrinden ismini alan Yeşilirmak Havzası; 39.626 km<sup>2</sup> yüz ölçümüne sahiptir. Karadeniz ikliminin etkileri görülen havzanın yıllık ortalama yağış miktarı 528 mm/m<sup>2</sup>, ortalama yıllık akışı 6.10 km<sup>3</sup>, yıllık ortalama sıcaklık değeri 12° C ve ortalama havza verimi 5.11 l/sn/km<sup>2</sup>'dir. Ayrıca havza; baraj göllerinin sayısının Türkiye'deki diğer havzalara göre fazla olmasından dolayı hidroelektrik üretimi, sulama, içme, sanayi gibi alanlar için büyük önem

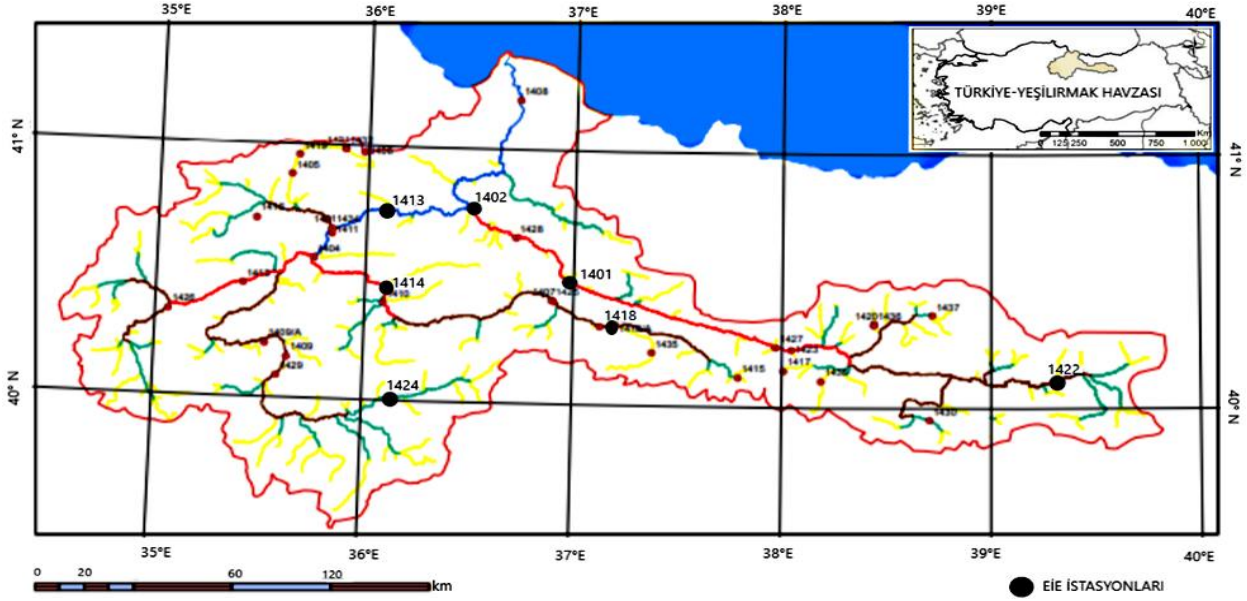
arz etmektedir. Havzanın kuraklık durumunun araştırılması oluşturulacak eylem planları açısından bir ihtiyaç niteliğindedir (Boustani & Ulke, 2020).

Çalışma kapsamında Yeşilirmak havzasında bulunan ve özellikleri Tablo 1'de verilen yedi adet istasyona ait akım değerleri Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) Akım Gözlem Yıllıklarından sağlanmıştır. İstasyon seçimi havzada bulunan istasyonların veri sayısına değerlendirilerek yapılmış ve 1970-2011 yılları arası eksiksiz veriye sahip istasyonlar seçilmiştir. İstasyonların havzadaki konumları Şekil 1'de verilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında kullanılan istasyonların memba bölgelerindeki su yapıları incelenmiş ve bazı istasyonların memba bölgesinde su yapıları (Almus Barajı ve Hidroelektrik Santrali, Ataköy Barajı, Hasan Uğurlu Barajı) olduğu görülmüştür. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde nehir veya akarsu üzerinde yapılan herhangi bir hidrolik yapının akım rejimini düzenlediğini ve olası taşkınları önlediği görülmüştür. Ayrıca çalışmalarda çok yüksek ve çok düşük akım değerlerinde değişimler yaşanması, su kalitesinin değişmesi ve kısa süreli salınımlar (saatlik vb.) yaşanması gibi durumlar gözlemlense de ortalama değerlerde su yapılarının inşasının akım verilerinde çok küçük etkiler doğuracağı belirtilmiştir (Doğan vd., 2016; Berkün vd., 2008).

**Tablo 1.** Akım gözlem istasyonları ve akım değerlerine ait istatistiksel bilgiler (EİE, 1970-2011)

**Table 1.** Stream flow observation stations and statistical information on flow values (EIE, 1970-2011)

İstasyon	Enlem	Boylam	Yıllık Ortalama Akış Değeri (mm)	Standart Sapma	Veri Aralığı
1401	36° 59' 56" D	40° 28' 42" K	66.5991	16.3580	1970-2011 Su Yılları
1402	36° 30' 45" D	40° 46' 18" K	148.3083	41.01685	
1413	36° 06' 43" D	40° 44' 40" K	58.4233	48.9541	
1414	36° 07' 05" D	40° 26' 03" K	22.4161	13.9223	
1418	37° 07' 43" D	40° 18' 42" K	18.4701	20.6174	
1422	39° 18' 42" D	40° 06' 45" K	7.8977	10.6955	
1424	36° 08' 47" D	40° 00' 29" K	3.9331	4.7936	



**Şekil 1.** EİE İstasyonlarının havzadaki konumu (Kurunç vd., 2005; Yılmaz vd., 2016)  
**Figure 1.** Location of EIE Stations in the basin (Kurunç vd., 2005; Yılmaz vd., 2016)

## 2.2. Akım kuraklık indisi (AKİ)

### 2.2. Streamflow drought index (SDI)

Hidrolojik kuraklığın belirlenmesini sağlayan AKİ 2008 yılında Nalbantis tarafından geliştirilmiştir (Nalbantis, 2008). Aylık akım verileri kullanılarak hesaplanan yöntem çok fazla değişkene ihtiyaç duymamasından dolayı sıklıkla tercih edilmektedir

$$V_{i,j} = \sum_{j=(k-1)+1}^k Q_{i,j}, k = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12 \quad (1)$$

$$V_{i,j} = \sum_{j=3(k-1)+1}^{3k} Q_{i,j}, k = 1,2,3,4 \quad (2)$$

$$V_{i,j} = \sum_{j=6(k-1)+1}^{6k} Q_{i,j}, k = 1,2 \quad (3)$$

$$V_{i,j} = \sum_{j=1}^{12} Q_{i,j} \quad (4)$$

Akım kuraklık indisinin değeri ise Denklem 5'te verildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$AKİ_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_k}, k = 1,2,3,4 \dots \dots, 12 \quad (5)$$

$\bar{V}_k$  kümülatif akım hacminin ortalama değerini ifade ederken  $S_k$  ise standart sapmasını ifade etmektedir. AKİ değerinin değerlendirilirken, analiz verileri normal veya log-normal dağılımı izlemelidir (Nalbantis, 2008). Bununla birlikte, küçük havzalarda, akarsu akımlarının dağılım modeli Gama dağılımına benzer olan, çarpık bir olasılık dağılımı izleyebilir. Bu nedenle, akış verilerini analiz etmek için AKİ kullanıldığında,

$$SDI_{i,k} = \frac{y_{i,k} - \bar{y}_k}{S_{y,k}}, i = 1,2, \dots; k = 1,2,3,4 \dots \dots, 12 \quad (6)$$

$$y_{i,k} = \ln(V_{i,k}), i = 1,2, \dots; k = 1,2,3,4 \dots \dots, 12 \quad (7)$$

$y_{i,k}$  değerleri, ortalaması  $\bar{y}_k$  ve standart sapması  $S_{y,k}$  olan kümülatif akımların doğal logaritmalarıdır.

(Jahangir & Yarahmadi, 2020; Tigkas et al., 2012).

$Q_{i,j}$  aylık akım değerleri,  $i$  su yılı,  $j$  su yılı içindeki ayı ve  $k$  referans periyodu temsil etmektedir. Bu durumda biriken akımın hacmi Denklem 1-4'te verildiği gibi hesaplanmaktadır. Denklem 1-4'te sırasıyla 1,3,6,12 aylık kuraklık indislerinin hesaplanma şekli ifade edilmiştir.

istatistiksel dağılımın normale dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, dönüşüm için birçok araştırmacı (Charbeneau, 1978; Harmas, 1967; Li et al., 2020; Nalbantis, 2008) tarafından önerilen ve normalizasyon işlemi basit olan log-normal dağılım kullanılmıştır. Bu nedenle akış verilerinin doğal logaritmaları alınarak AKİ denklemi aşağıdaki gibi yeniden düzenlenmiştir (Yeh et al. 2015);

Çalışma kapsamında hidrolojik indislerinin hesaplanması için ara yüz sağlayan DrinC

(Drought Indices Calculator) yazılımı ile hesaplama yapılmıştır (Tigkas et al., 2015). AKİ değerlerinin kuraklık sınıflandırması sekiz farklı sınıf ile değerlendirilmektedir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Akım Kuraklık İndisi sınıflandırması (Hong et al., 2014)

**Table 2.** Streamflow Drought Index classification (Hong et al., 2014)

Kuraklık Sınıfı	AKİ Değerleri
Aşırı Kurak (AK)	$AKİ \leq -2$
Şiddetli Kurak (ŞK)	$-2 < AKİ \leq -1.5$
Orta Kurak (OK)	$-1.5 < AKİ \leq -1$
Hafif Kurak (HK)	$-1 < AKİ \leq 0$
Hafif Nemli (HN)	$0 < AKİ \leq 1$
Orta Nemli (ON)	$1 < AKİ \leq 1.5$
Şiddetli Nemli (ŞN)	$1.5 < AKİ \leq 2$
Aşırı Nemli (AN)	$AKİ > 2$

### 2.3. Yenilikçi Şen trend yöntemi (YŞTY)

#### 2.3. Şen innovative trend analysis (ITA)

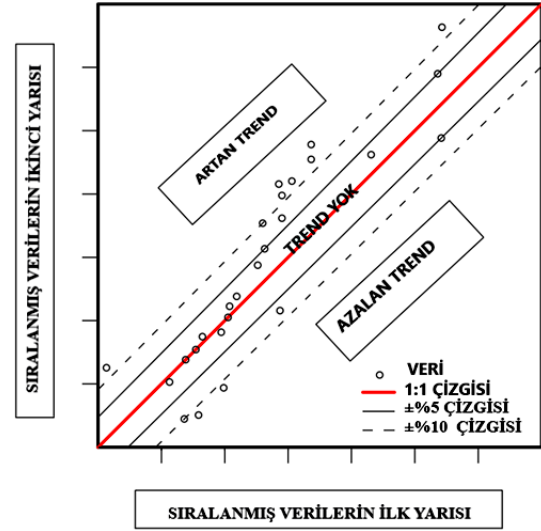
2012 yılında Şen tarafından geliştirilen YŞTY; diğer yöntemlere göre trendin var olup olmamasının yanı sıra hangi verilerde olduğunu da göstermesinden dolayı üstün kabul edilen bir yöntemdir (Şen, 2012). Yöntemin uygulaması için ilk olarak ölçümü alınan hidrolojik değişkenlerin veri serisi ölçüm tarihinin başlangıcından bitişine doğru sıralanmaktadır. Oluşan seri ilk ölçüm tarihinden itibaren iki eşit parçaya ayrılmakta ve ayrı ayrı küçükten büyüğe doğru kendi içinde sıralanmaktadır. İki veri sütununun ilki; kartezyen koordinat sisteminde X-eksenine, ikincisi ise Y-eksenine yerleştirilmektedir. Oluşan grafik Şekil 2’de gösterildiği gibi ifade edilebilmektedir. Veri noktalarının 1:1 (45°) olması durumunda trend yoktur; çizginin altında olması durumunda azalan trend vardır ve çizginin üstünde olması durumunda artan trend vardır (Ahmed & Ogedengbe, 2021).

Trendin varlığına daha nicel şekilde bakılabilmesi için Tosunoğlu & Kişi, (2017) tarafından önerilen  $\pm\%5$  ve  $\pm\%10$  güven aralığı çizgilerinin kullanılması fayda sağlamaktadır. 1:1 çizgisine paralel ve veri setine  $\pm\%5$  ve  $\pm\%10$  mesafede çizgiler oluşturularak;

- Verilerin 1:1 ile  $\pm\%5$  arasında olması durumunda “trend var”
- Verilerin  $\pm\%5$  ve  $\pm\%10$  arasında olması durumunda “güçlü trend var”

$\pm\%10$  çizgisinin üzerinde olması durumunda “çok güçlü trend var” şeklinde değerlendirilme

yapılabilmektedir (Şen,2012; Tosunoglu & Kişi, 2017; Gümüş vd., 2021) (Şekil 2).



**Şekil 2.** Trend meydana gelme durumu (Şen 2012)  
**Figure 2.** Trend occurrence (Şen 2012)

Şen, (2017) tarafından önerilen Denklem 8 ile hesaplanan YŞY’nin eğimi ( $S_{YŞY}$ ), trendin büyüklüğünü göstermektedir.

$$S_{YŞY} = \frac{2(\bar{x}-\bar{y})}{n} \quad (8)$$

Trend eğimin standart sapması,

$$\sigma_s = \frac{2\sqrt{2}}{n\sqrt{n}} \sigma \sqrt{1 - \rho_{xy}} \quad (9)$$

Trendin güven sınırı (CL)

$$CL_{(1-\alpha)} = 0 \pm s_{kri} \sigma_s, \quad (10)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada n, zaman serisinin veri uzunluğu ve x (y) birinci (ikinci) yarı zaman serisi ortalamasıdır.  $\rho_{xy}$ : serinin birinci ve ikinci yarı arasındaki çapraz korelasyon katsayısı ve  $\sigma_s$ , eğimin standart sapmasını göstermektedir.  $S_{kri}$  tek yönlü hipotezde (örneğin %95 güven düzeyinde) Zkritik değerleri göstermektedir. Denklem 10 ile hesaplanan kritik üst ve alt limit değerleri, hipotez testinin sınırlarını belirlemek için oluşturulmuştur. Her istasyonun eğim değeri  $S_{YŞY}$ ’nin alt ve üst güven limitlerinin dışındaysa zaman serisinde bir eğilimin olduğunu gösterir. Eğilim yönü  $S_{YŞY}$ ’nin işaretine göre tespit edilmektedir.  $S_{YŞY}$  değerinin pozitif (negatif) olması zaman serilerinde artan (azalan) bir eğilim olduğunu ifade etmektedir (Şen, 2017).

## 2.4. Mann Kendall (MK) trend analizi

### 2.4. Mann-Kendall trend analysis (MK)

Hidro-meteorolojik zaman serilerinin trendinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan MK testi Kendall'ın tau istatistiği olarak da bilinir. Eksik verilerin varlığına müsaade etmesi ve verileri belirli bir dağılıma uymak zorunda bırakmaması sebebiyle avantajlı bir metottur. Mevsimselliğin ortadan kaldırıldığı verilere uygulanan Mann-Kendall istatistiği (S); Denklem 11'deki gibi hesaplanır.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (11)$$

normal bir dağılıma sahip olan verilerde S'nin varyansı Denklem 12'de verildiği gibi hesaplanmakta,

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{Eğer } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{Eğer } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{Eğer } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (12)$$

zaman serilerinde bağ durumu olması durumunda ise;

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (13)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Varyans hesabından sonra Mann Kendall testinin önemli olup olmadığı standart normal değişkenin (z) hesaplanıp Denklem 14'te verildiği gibi kritik z değeri ile karşılaştırılması ile belirlenmektedir.

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S > 0 \\ 0 & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (14)$$

a seçilen anlamlılık seviyesi olarak ifade edilir ve  $|z| \leq z_a$  olursa  $H_0$  hipotezi kabul edilmekte aksi halde reddedilmektedir. Ayrıca S değerinin pozitif olması durumunda artan trend, negatif olması durumunda ise azalan trendin varlığı söz konusudur (Alifujiang et al., 2020).

## 2.5. Trend Free Pre-Whitening (TFPW) yöntemi

### 2.5. Trend Free Pre-Whitening (TFPW) method

TFPW yöntemi veya ön arındırma yöntemi olarak bilinen yöntem MK testinde seri korelasyonunun etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilmiştir. Hem pozitif hem de negatif seri korelasyonuna sahip seriler için kullanılan yöntemle ait uygulama Denklem 15-18'de verildiği

gibi uygulanmaktadır (Yu et al., 2002; Esmaeilpour et al., 2021).

- Gecikme ve korelasyon hesabı yapılır.

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (X_i - \bar{X})(X_{i+k} - \bar{X})}{\frac{1}{n} \sum_{i=2}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (15)$$

-  $\frac{-1-1.96\sqrt{n-2}}{n-2} \leq r_i \leq \frac{-1+1.96\sqrt{n-2}}{n-2}$  olması durumunda serinin %10 anlamlılık düzeyinde bağımsız olduğu varsayılmakta ve trend testi öncesi ön arındırmanın gerekmediği görülür. Aksi takdirde trend öncesi ön arındırma uygulanır.

- Parametrik olmayan Theil-Sen yaklaşımı (TSY) eğimi ( $\beta$ ) kullanılarak hesaplanır ve trendi bozulmuş bir seri elde edilir.

$$x'_i = x_i - (\beta * i) \quad (16)$$

- Trendi bozulmuş serinin lag-1 oto korelasyonu hesaplanır (Denklem 10).

- Lag-1 otoregresif trend (AR (1)) seriden kaldırılır.

$$y'_i = x'_i - r_1 * x'_{i-1} \quad (17)$$

- ( $\beta * i$ ) kalan seriye geri eklenir.

$$y_i = y'_i + (\beta * i) \quad (18)$$

Bu çalışmada kullanılan trend analizi metotları R yazılımı modifiedmk paketinde bulunan "mkttest, tfpwmk ve innvtrend" komutları ile yapılmıştır.

## 2.6. Thiel Şen yaklaşımı (TSY)

### 2.6. Thiel Sen approach (TSA)

TSY kullanılarak trendlerin büyüklükleri belirlenebilmektedir. (Kumar et al., 2009) çalışmasında TSY eğimi ( $\beta$ ) Denklem 19'da verildiği gibi ifade edilmektedir.

$$\beta = \text{median} \left[ \frac{X_j - X_i}{j - i} \right] (\forall j > i) \quad (19)$$

Burada  $\beta$  tüm değerlerin ortancasıdır (Esmaeilpour et al., 2021).  $\beta$  işareti trendin arttığını veya azaldığını gösterir.

## 3. Bulgular ve tartışma

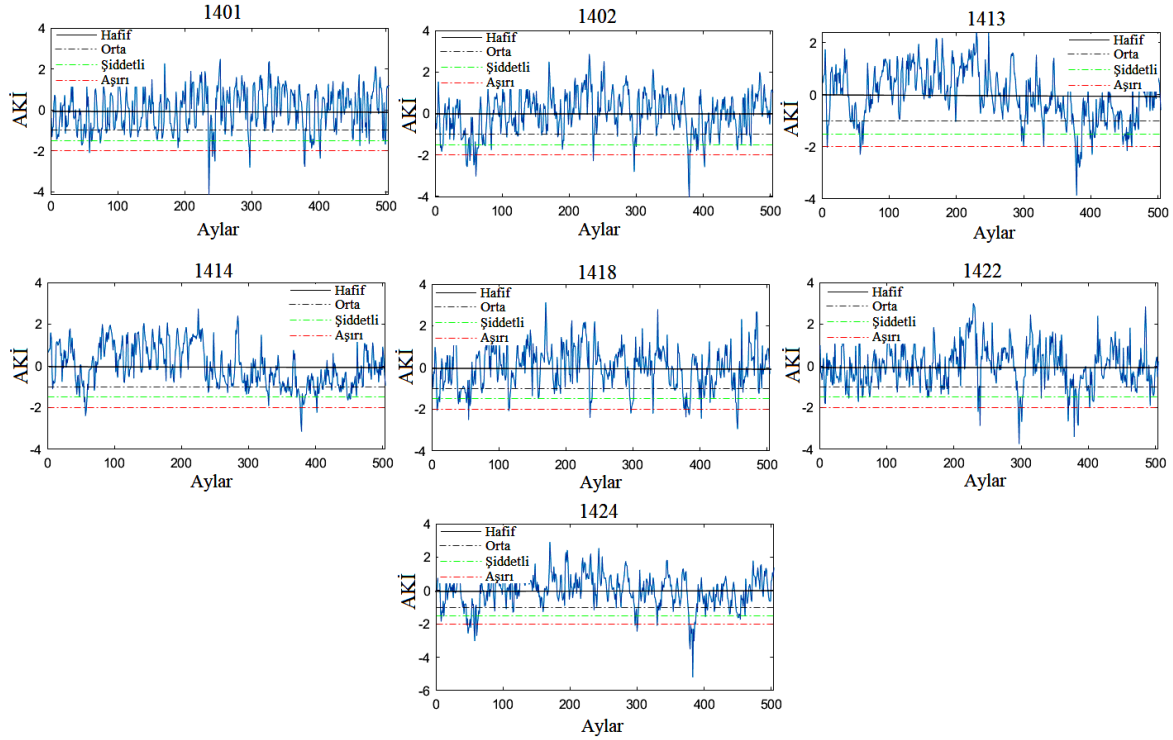
### 3. Finding and discussion

Bu çalışmada Yeşilirmak havzasında 7 farklı akım gözlem istasyonunda aylık ve yıllık zaman



periyodunda AKİ değerlerinin trend analizi MK, TSY ve YŞTY ile yapılmıştır. AKİ değerleri DrinC yazılımı aracılığıyla hesaplanmıştır. Elde edilen AKİ değerlerinin zamansal değişimi ve kuraklık sınıfları Şekil 3 ve 4'te sunulmuştur. Şekillerde hafif, orta, şiddetli ve aşırı kuraklıkların görüldüğü zaman periyotları ve kuraklıkların değişim görülmektedir. Şekil 3 ve 4'ten görüldüğü üzere aylık ve yıllık zaman periyodunda seçilen istasyonlarda çok sayıda hafif kuraklık gözlenirken az sayıda aşırı kuraklıklar mevcuttur. Ayrıca Şekil

4'te yıllık kuraklıkların eşik seviyesini aştığı periyotlar değerlendirildiğinde 1401 nolu istasyonda 2, 1402 nolu istasyonda 1, 1413 nolu istasyonda 2, 1414 nolu istasyonda 1, 1418 nolu istasyonda 2, 1422 nolu istasyonda 2, ve 1424 nolu istasyonda ise 1 dönemde aşırı kuraklıklar görülmektedir. Bu durum havzada kuraklıkların önemli yer tuttuğunu göstermektedir. Bu nedenle kuraklıkların eğilimleri incelenerek kuraklık şartları detaylı olarak değerlendirilmiştir.



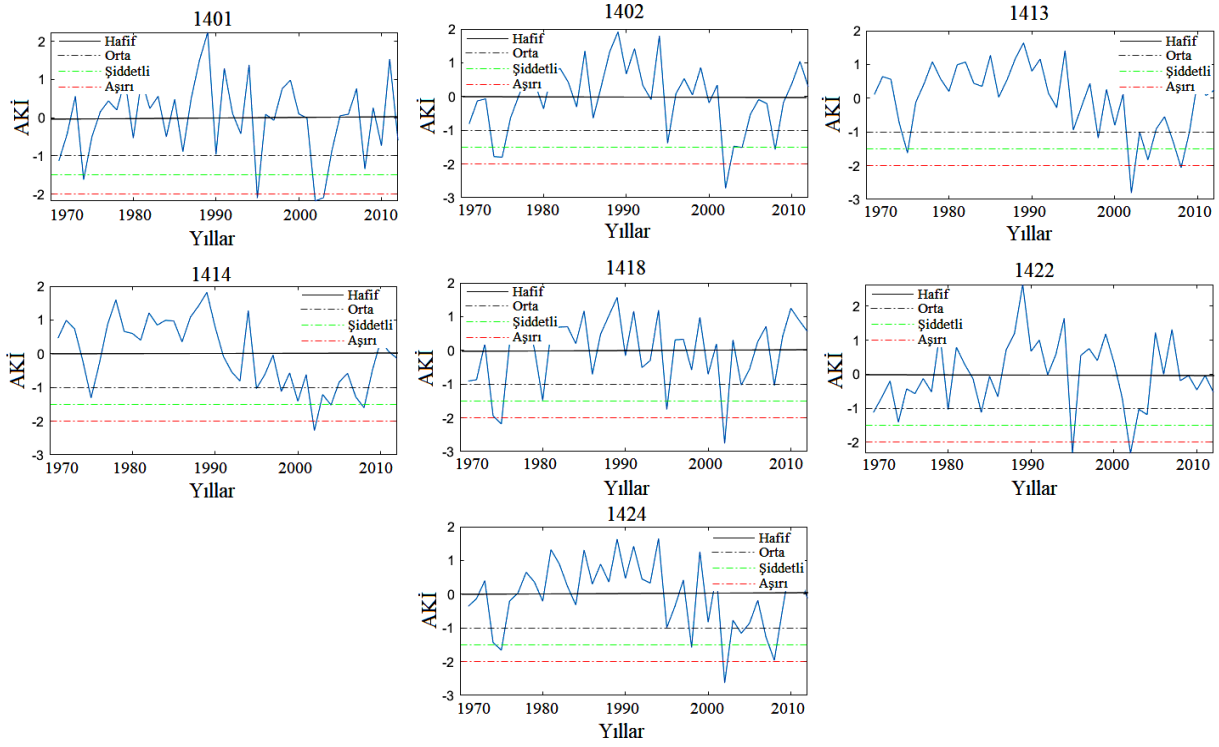
**Şekil 3.** Aylık zaman periyodundaki AKİ değerlerinin zamansal değişimi ve kuraklık sınıfları  
**Figure 3.** Temporal variation of SDI values in monthly time period and drought classes

### 3.1. Mann Kendall testi ve Şen eğimi sonuçları

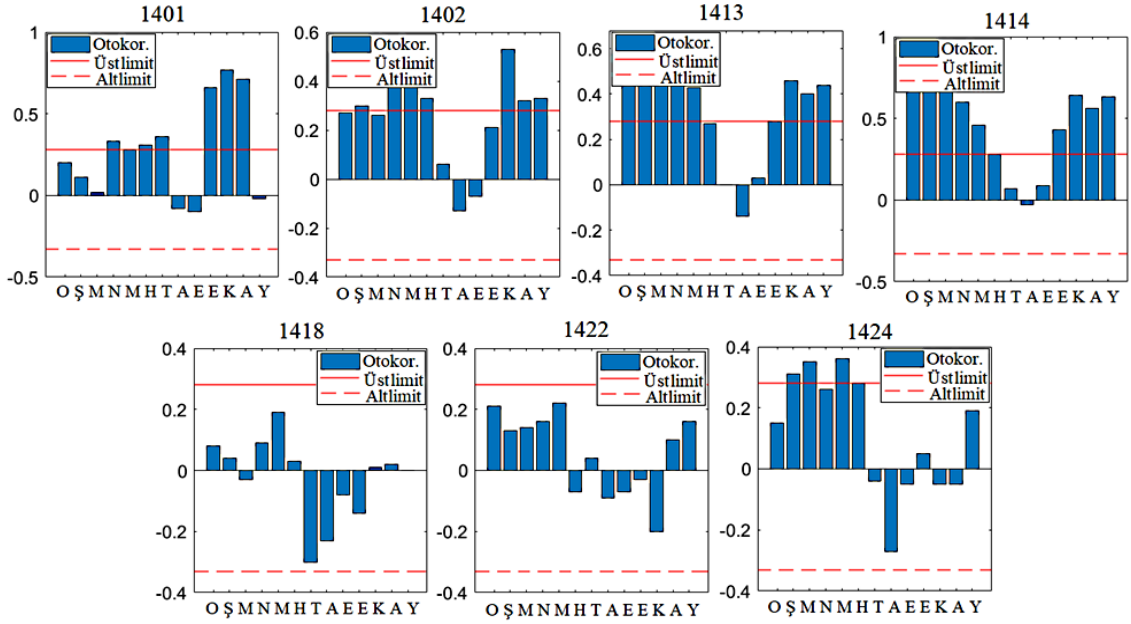
#### 3.1. Mann Kendall test and Sen's slope results

Çalışmada kullanılan MK testine başvurmadan önce AKİ değerlerinin lag-1 içsel bağımlılık değerleri Denklem 15 ile hesaplanarak güven limitleri incelenmiştir. Her bir zaman periyodu için elde edilen otokorelasyon değerleri güven limitleri içerisinde kalması durumunda orijinal MK testine

uygulanırken, güven limitlerinin aşılması durumunda TFPW-MK uygulanmıştır. Örnek olarak Şekil 5' te 1401 nolu istasyon incelendiğinde Nisan, Haziran, Temmuz, Ekim, Kasım, Aralık aylarında 1 aylık gecikmeli AKİ değerleri %90 güven limitleri aştığı için TFPW-MK testine başvurulurken diğer periyotlarda orijinal MK testi uygulanmıştır.



Şekil 4. Yıllık zaman periyodundaki AKİ değerlerinin zamansal değişimi ve kuraklık sınıfları  
 Figure 4. Temporal variation of SDI values in annual time period and drought classes



Şekil 5. Aylık ve yıllık zaman periyodundaki 1 aylık gecikme (lag-1) değerlerine ait oto korelasyonlar  
 Figure 5. Autocorrelation of 1-month lag (lag-1) values in monthly and yearly time period

**Tablo 3.** Mann Kendall ve TŞY metoduna ait istatistiksel sonuçlar**Table 3.** Statistical results of Mann Kendall and TSY method

		Ocak	Şubat	Mart	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Ey.	Eki.	Kas.	Ara.	Yıllık
1401	Mk-Z değeri	<b>3.13</b>	0.56	<b>-3.34</b>	<b>-4.14</b>	-2.16	-1.45	<b>5.20</b>	<b>5.24</b>	<b>4.76</b>	<b>2.84</b>	<b>2.71</b>	1.47	-0.28
	Şen eğimi	0.05	0.01	-0.05	-0.05	-0.02	-0.02	0.06	0.06	0.06	0.04	0.04	0.02	-0.004
	Trend	↑	↔	↓	↓	↓*	↔	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↔
1402	Mk-Z değeri	1.18	0.28	-0.79	-2.14	-1.69	-0.79	<b>3.77</b>	<b>4.60</b>	<b>3.76</b>	1.02	1.02	0.55	-0.26
	Şen eğimi	0.02	0.004	-0.01	-0.03	-0.02	-0.01	0.05	0.06	0.05	0.01	0.012	0.008	-0.004
	Trend	↔	↔	↔	↓*	↔	↔	↑	↑	↑	↔	↔	↔	↔
1413	Mk-Z değeri	<b>-3.29</b>	-2.53	-0.53	-1.29	-1.74	-1.47	-1.63	<b>-2.64</b>	<b>-3.07</b>	<b>-3.59</b>	<b>-4.23</b>	<b>-3.61</b>	<b>-2.73</b>
	Şen eğimi	-0.04	-0.03	-0.007	-0.02	-0.02	-0.22	-0.02	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.04	-0.03
	Trend	↓	↓*	↔	↔	↔	↔	↔	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1414	Mk-Z değeri	<b>-4.01</b>	<b>-3.47</b>	-1.25	-1.94	-1.63	-0.76	-2.21	-1.8	-2.3	<b>-3.89</b>	<b>-5.13</b>	<b>-4.5</b>	<b>-3.87</b>
	Şen eğimi	-0.05	-0.05	-0.02	-0.03	-0.02	-0.007	-0.03	-0.03	-0.04	-0.44	-0.05	-0.05	-0.04
	Trend	↓	↓	↔	↔	↔	↔	↓*	↔	↓*	↓	↓	↓	↓
1418	Mk-Z değeri	0.24	0.99	1.86	0.28	0.09	-0.94	-0.54	-2.1	-2.34	-0.37	1.37	0.08	1.13
	Şen eğimi	0.004	0.01	0.02	0.003	0.002	-0.01	-0.007	-0.03	-0.03	-0.005	0.01	0.001	0.01
	Trend	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↓*	↓*	↔	↔	↔	↔
1422	Mk-Z değeri	0.79	0.25	0	0.46	1.17	-0.69	0.01	-1.82	-1.82	-0.28	0.74	0.64	0.91
	Şen eğimi	0.009	0.002	0	0.007	0.02	-0.008	0.0003	-0.03	-0.02	-0.002	0.01	0.006	0.009
	Trend	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
1424	Mk-Z değeri	-1.11	-1.61	-0.95	-0.65	-0.95	-0.56	0.63	1.41	2.36	1.15	0.26	-0.97	-0.72
	Şen eğimi	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.007	0.007	0.01	0.03	0.01	0.003	-0.01	-0.009
	Trend	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↑*	↔	↔	↔	↔

Not: Tablo 3'teki koyu renkli değerler %1 önem seviyesinde (%99 güven aralığında) anlamlı trendleri göstermektedir. ↓ işaretli azalan trendi, ↑ işaretli artan trendi ve ↔ işaretli anlamlı trendin olmadığını göstermektedir.

Tablo 3'teki koyu renkli değerler %1 önem seviyesinde anlamlı trendleri göstermektedir. \* işaretli %5 önem seviyesinde anlamlı trendleri ifade etmektedir. ↓ işaretli azalan trendi, ↑ işaretli artan trendi ve ↔ işaretli anlamlı trendin olmadığını göstermektedir.

Tablo 3'te MK ve Şen eğimlerine ait AKİ değerleri aracılığı ile elde edilen hidrolojik kuraklıkların trend sonuçları gösterilmiştir. Anlamlı trendlerin ortaya çıkarılması için, Standard normal dağılım tablosundan  $\alpha=0,05$  (%5) ve  $\alpha=0,01$  (%1) anlamlılık düzeyi için z değeri 1,96 ve 2,58 olarak belirlenmiştir. Elde edilen trend z değerleri  $\pm 1,96$  ve  $\pm 2,58$  aralığının dışında ise sırasıyla  $\alpha=0,05$  ve  $\alpha=0,01$  anlamlılık düzeyinde sıfır hipotezi "H<sub>0</sub>: Trend yok" reddedilerek trendin varlığı ifade edilmektedir. AKİ değerlerinin MK testi sonucunda 1401 numaralı istasyonda Mart, Nisan ve Mayıs aylarında istatistiksel açıdan anlamlı azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) görülürken, Ocak, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında anlamlı artış trendleri (azalan kuraklık şiddeti) tespit edilmiştir. 1402 numaralı istasyonda Mart ayında anlamlı azalan AKİ

trendleri (artan kuraklık şiddeti) görülürken, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında anlamlı artış trendleri (azalan kuraklık şiddeti) tespit edilmiştir. 1413 numaralı istasyonda Ocak, Şubat, Temmuz, Eylül, Ekim, Kasım, Aralık aylarında ve Yıllık zaman periyodunda anlamlı azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) hakimdir. 1414 numaralı istasyonda Ocak, Şubat, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım, Aralık aylarında ve Yıllık zaman periyodunda anlamlı azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) hakimdir. 1418 numaralı istasyonda Ağustos ve Eylül aylarında anlamlı azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) görülmektedir. 1422 numaralı istasyonda istatistiksel açıdan anlamlı trend bulunmamaktadır. 1424 numaralı istasyonda sadece Eylül ayında anlamlı azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) tespit edilmiştir. Ayrıca pozitif ve negatif değerlere göre trendin yönünü gösteren Şen eğim değerlerinin MK-Z değerleri ile karşılaştırıldığında büyük ölçüde örtüştüğü görülmektedir.

### 3.2. Yenilikçi Şen yöntemi sonuçları

#### 3.2. Sen innovative trend analysis results

$S_{\text{ŞŞY}}$  değerleri güven limitlerini aşması istatistiksel açıdan anlamlı trendlerin olduğunu göstermektedir. Tablo 4'te YŞY'ne ait eğimler ve %1 ve %5 güven limitleri gösterilmiştir.  $S_{\text{ŞŞY}}$  değerleri incelendiğinde, 1401 numaralı istasyonda Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında ve yıllık zaman periyodunda istatistiksel açıdan %1 anlamlık seviyesinde azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) görülürken, Ocak, Şubat, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında %1 anlamlık seviyesinde artış trendleri (azalan kuraklık şiddeti) tespit edilmiştir. 1402 numaralı istasyonda Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında ve yıllık zaman periyodunda %1 anlamlık seviyesinde azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) görülürken, Ocak, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında %1 anlamlık seviyesinde artış trendleri (azalan kuraklık şiddeti) görülmüştür. 1413 ve 1414 numaralı istasyonda tüm zaman periyotlarında %1 anlamlık seviyesinde azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) hakimdir. 1418 numaralı istasyonda Şubat, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Aralık aylarında ve yıllık

zaman periyodunda %1 anlamlık seviyesinde azalan AKİ trendleri görülürken, Mart ayında %1 anlamlık seviyesinde artış trendleri tespit edilmiştir. 1422 numaralı istasyonda Mart ayında %5 anlamlık seviyesinde, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında %1 anlamlık seviyesinde azalan AKİ trendleri görülürken, Mayıs ayında %1 anlamlık seviyesinde artış trendleri tespit edilmiştir. 1424 numaralı istasyonda Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Ağustos, Kasım ve Aralık aylarında ve yıllık zaman periyodunda %1 anlamlık seviyesinde azalan AKİ trendleri görülürken, Eylül ayında anlamlı artış trendleri tespit edilmiştir. Ayrıca güven limitleri içinde kalan eğimler istatistiksel açıdan anlamsız trendleri göstermektedir. Buna göre 1402 numaralı istasyonda Aralık ayında, 1418 numaralı istasyonda Ocak, Nisan ve Kasım aylarında, 1422 numaralı istasyonda Ocak, Şubat, Nisan, Kasım, Aralık ve Yıllık periyotlarda ve 1424 numaralı istasyonda Temmuz ve Ekim aylarında istatistiksel açıdan önemli olmayan eğimler mevcuttur (Tablo 4). Tüm istasyonlar bir birlikte değerlendirildiğinde genel olarak %1 anlamlık seviyesinde azalan AKİ trendlerinin bulunması gittikçe artan kuraklık şiddetlerinin havzada görüldüğünü ifade etmektedir.

**Tablo 4.** YŞY'ne ait istatistiksel sonuçlar

**Table 4.** Statical results of ITA

		Ocak	Şub.	Mart	Nisan	May.	Haz.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kas.	Ara.	Yıllık
1401	$S_{\text{ŞŞY}}$	<b>0.042</b>	<b>0.008</b>	<b>-0.06</b>	<b>-0.066</b>	<b>-0.035</b>	<b>-0.026</b>	<b>0.076</b>	<b>0.079</b>	<b>0.075</b>	<b>0.063</b>	<b>0.040</b>	<b>0.029</b>	<b>-0.018</b>
	%5	0.005	0.005	0.004	0.0025	0.009	0.003	0.008	0.009	0.011	0.006	0.005	0.006	0.004
	%1	0.006	0.007	0.005	0.0034	0.012	0.004	0.01	0.012	0.014	0.008	0.007	0.008	0.005
	Trend	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓
1402	$S_{\text{ŞŞY}}$	<b>0.0055</b>	<b>-0.015</b>	<b>-0.031</b>	<b>-0.037</b>	<b>-0.029</b>	<b>-0.017</b>	<b>0.046</b>	<b>0.059</b>	<b>0.046</b>	<b>0.019</b>	<b>0.007</b>	-0.0003	<b>-0.018</b>
	%5	0.0039	0.006	0.005	0.0076	0.005	0.003	0.006	0.005	0.007	0.004	0.005	0.004	0.004
	%1	0.0051	0.008	0.007	0.010	0.006	0.004	0.008	0.007	0.01	0.006	0.006	0.005	0.006
	Trend	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↔	↓
1413	$S_{\text{ŞŞY}}$	<b>-0.062</b>	<b>-0.052</b>	<b>-0.032</b>	<b>-0.016</b>	<b>-0.018</b>	<b>-0.022</b>	<b>-0.033</b>	<b>-0.051</b>	<b>-0.055</b>	<b>-0.064</b>	<b>-0.068</b>	<b>-0.066</b>	<b>-0.05</b>
	%5	0.005	0.005	0.004	0.006	0.003	0.004	0.003	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004
	%1	0.006	0.007	0.005	0.008	0.004	0.005	0.004	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005
	Trend	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1414	$S_{\text{ŞŞY}}$	<b>-0.07</b>	<b>-0.059</b>	<b>-0.032</b>	<b>-0.022</b>	<b>-0.018</b>	<b>-0.018</b>	<b>-0.045</b>	<b>-0.056</b>	<b>-0.057</b>	<b>-0.072</b>	<b>-0.082</b>	<b>-0.079</b>	<b>-0.065</b>
	%5	0.008	0.008	0.004	0.003	0.005	0.006	0.005	0.006	0.003	0.009	0.007	0.004	0.005
	%1	0.01	0.011	0.005	0.004	0.006	0.008	0.006	0.008	0.004	0.012	0.009	0.006	0.006
	Trend	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1418	$S_{\text{ŞŞY}}$	-0.004	<b>-0.0041</b>	<b>0.011</b>	0.0004	<b>-0.008</b>	<b>-0.016</b>	<b>-0.014</b>	<b>-0.031</b>	<b>-0.033</b>	<b>-0.018</b>	-0.0003	<b>-0.011</b>	<b>-0.007</b>
	%5	0.006	0.0039	0.004	0.0025	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004
	%1	0.007	0.005	0.005	0.0033	0.005	0.005	0.006	0.004	0.005	0.006	0.006	0.006	0.005
	Trend	↔	↓	↑	↔	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↔	↓	↓
1422	$S_{\text{ŞŞY}}$	-0.001	-0.004	-0.005	-0.0009	<b>0.007</b>	<b>-0.012</b>	<b>-0.011</b>	<b>-0.023</b>	<b>-0.027</b>	<b>-0.013</b>	0.0007	-0.001	-0.003
	%5	0.003	0.006	0.004	0.007	0.003	0.006	0.005	0.006	0.006	0.009	0.005	0.004	0.006
	%1	0.004	0.007	0.006	0.009	0.004	0.008	0.006	0.008	0.008	0.012	0.006	0.005	0.008
	Trend	↔	↔	↓	↔	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↔	↔	↔
1424	$S_{\text{ŞŞY}}$	<b>-0.025</b>	<b>-0.034</b>	<b>-0.034</b>	<b>-0.017</b>	<b>-0.011</b>	<b>-0.015</b>	-0.002	<b>-0.0073</b>	<b>0.016</b>	0.002	<b>-0.019</b>	<b>-0.031</b>	<b>-0.029</b>
	%5	0.006	0.007	0.004	0.005	0.002	0.004	0.003	0.007	0.004	0.004	0.005	0.006	0.003
	%1	0.008	0.01	0.005	0.007	0.003	0.006	0.004	0.009	0.005	0.005	0.007	0.008	0.005
	Trend	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↔	↓	↑	↔	↓	↓	↓

Not: Tablo 4'teki koyu renkli değerler %1 önem seviyesinde (%99 güven aralığında) anlamlı trendleri göstermektedir. ↓ işareti azalan trendi, ↑ işareti artan trendi ve ↔ işareti anlamlı trendin olmadığını göstermektedir.

YŞY'ye ait grafiksel sonuçlar değerlendirildiğinde, 1401 numaralı istasyonda Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında ve yıllık zaman periyodunda istatistiksel açıdan %10 çizgisinin altında azalan AKİ trendleri görülürken, diğer zaman

periyotlarında %10 çizgisinin üzerinde artış trendleri tespit edilmiştir (Şekil 6). 1402 numaralı istasyonda Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında ve yıllık zaman periyodunda %10 çizgisinin altında azalan AKİ trendleri görülürken,

Ocak, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında %10 çizgisinin üzerinde artan trendler görülmüştür (Şekil 7). 1413 ve 1414 numaralı istasyonda tüm zaman periyotlarında %10 çizgisinin altında azalan AKİ trendleri tespit edilmiştir (Şekil 8-9). 1418 numaralı istasyonda Şubat, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Aralık aylarında ve yıllık zaman periyodunda %10 çizgisinin altında azalan AKİ trendleri mevcutken, Mart ayında %10 çizgisinin üzerinde artan trendleri tespit edilmiştir (Şekil 10). 1422 numaralı istasyonda Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında %10 çizgisinin altında azalan AKİ trendleri görülürken, Mayıs ayında %10 çizgisinin üzerinde artan trendler meydana gelmiştir (Şekil 11). 1424 numaralı istasyonda Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Kasım ve Aralık aylarında ve yıllık zaman

periyodunda %10 çizgisinin altında azalan AKİ trendleri görülürken, Eylül ayında %10 çizgisinin üzerinde artan trendler meydana gelmiştir (Şekil 12). Ayrıca diğer zaman periyotlarında önemli trendler tespit edilememiştir.

Kurak ve sulak dönemi ayırmak için kritik kesim seviyesi sıfır değeri olarak alındığında negatif AKİ değerleri kuraklığı ve pozitif AKİ değerleri ise sulaklığı göstermektedir. Bu kriter doğrultusunda YŞY'ye ait grafikler iki farklı döneme ayrılarak trend durumları Tablo 5'te sunulmuştur. 1401 ve 1402 numaralı istasyonlar dışındaki tüm istasyonlarda kurak ve sulak dönemlerde AKİ değerlerinin azalan eğilime sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum havzada hidrolojik kuraklıkların giderek arttığını göstermektedir.

**Tablo 5.** AKİ değerlerinin YŞY ile kurak ve sulak dönemlerdeki trendleri  
*Table 5. Trends of SDI values with ITA in dry and wet periods*

	Dönem	Oc.	Şub.	Mart	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağ.	Ey.	Ek.	Kas.	Ara.	Yıl.
1401	Kurak	↑	↑	-	-	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓
	Sulak	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	-	↓	-	↑	↑	↓
1402	Kurak	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓
	Sulak	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	-	↑	↑	↓	↓	↓
1413	Kurak	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	Sulak	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1414	Kurak	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	Sulak	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↔	↓	↓	↓	↓	↓
1418	Kurak	↔	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↔
	Sulak	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1422	Kurak	↑	↔	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑
	Sulak	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↔
1424	Kurak	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↔	↔	↓
	Sulak	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓

Not: ↓ işareti azalan trendi, ↑ işareti artan trendi ve ↔ işareti anlamlı trendin olmadığını göstermektedir.

Gümü, (2017) çalışmasında, Asi Havzasında bulunan AKİ değerleri ile kuraklık analizi yapmıştır. Kuraklık analizine göre havzadaki kurak ve nemli dönemlerin şiddeti, dağılımı ve büyüklüğünü değerlendirmiştir. Sonuç olarak, havzada 2000 ve 2001 yıllarında aşırı kuraklıkların yaşandığı tespit etmiştir. Özfidaner vd. (2018) çalışmalarında, Seyhan Havzasındaki 1801 ve 1818 nolu istasyonlara ait 3, 6, 9,12 aylık AKİ değerleri hesaplanmış ve karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda, kuraklıkların 2000 yılından sonra önem kazandığı tespit etmişlerdir. Yeşilirmak havzasındaki aşırı kuraklıklar incelendiğinde, benzer şekilde 2001 yılında aşırı kuraklıkların meydana geldiği görülmektedir

(Şekil 4). Mevcut literatürde genellikle AKİ ile hidrolojik kuraklık durumu değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ise hem hidrolojik kuraklıklar değerlendirilmiş olup hem de kuraklıkların çeşitli metotlar ile eğilimleri tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan çalışma Yeşilirmak havzasındaki hidrolojik kuraklık trendlerini gösteren ilk çalışmalarındadır.

Yeşilirmak havzasındaki kuraklık eğilimleri mevcut literatür ile karşılaştırıldığında sonuçların büyük ölçüde örtüştüğü görülmektedir. Yılmaz (2019) çalışmasında, Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) bölgesinde hidrolojik kuraklık eğilimlerinin ortaya çıkarılması için MK ve YŞY kullanmıştır.

Hidrolojik kuraklıklar 12 ve 24 aylık standardize yağış indeksi değerlerini kullanarak tespit etmiştir. Çalışmanın sonucunda, GAP bölgesinin merkezinde gelecekte daha şiddetli kuraklıkların görülebileceği vurgulanmıştır. Katipoğlu (2020) Fırat havzasındaki aylık ve yıllık zaman periyotlarında hidrolojik kuraklıkların değişimini belirlemek için SAİ değerleri MK ve Modifiye MK testlerine tabi tutmuştur. Çalışmanın bir sonucu olarak Fırat havzasında yaz ve sonbahar aylarında negatif Z değerlerinin hâkim olması nedeniyle kuraklık şiddetlerinin arttığı sonucuna varmıştır. Elde edilen sonuçlar Fırat havzasına komşu olan Yeşilirmak havzasında AKİ değerlerini MK testi ile elde edilen trend sonuçlarını destekler niteliktedir. Ayrıca yapılan çalışma hidrolojik kuraklık trendlerinin belirlenmesinde çeşitli trend metotlarının karşılaştırması açısından literatüre katkı sağlamaktadır.

Trend analizleri sonucunda havzada kuraklıkların artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle kriz yönetimi yaklaşımı yerine kuraklıklara önceden hazırlık ve erken uyarı kademelerinden oluşan risk yönetimi yaklaşımının uygulanması gerekmektedir. Böylece havzada kuraklığa bağlı tarım, ekonomi, sanayi gibi sektörlerde meydana gelebilecek olumsuzluklarda önlenilecektir.

#### 4. Sonuçlar

##### 4. Results

Bu çalışmada Yeşilirmak havzasında bulunan 7 akım gözlem istasyonundaki hidrolojik kuraklıklar Yenilikçi Şen, Mann Kendall ve Thiel Şen yöntemleri ile analizi yapılmıştır. Hidrolojik kuraklıkların belirlenmesinde AKİ değerleri kullanılmıştır. Analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Kuraklık trendlerini algılamada YŞY ve MK yöntemi benzer sonuçlar göstermesine rağmen YŞY, kuraklık trendlerini daha hassas olarak tespit etmiştir.
- YŞY’de serisel bağımlılığın giderilmesi gibi herhangi bir ön işlem bulunmaması ile kullanım kolaylığı sağlamaktadır.
- Şen eğim değerleri, Yenilikçi Şen eğimleri ve MK-Z değerleri aylık ve yıllık periyotlarda birbirleri ile büyük ölçüde örtüşmektedir.
- YŞY, trendleri algılamada grafiksel çizimleri kullanması sayesinde verilerdeki trendlerin çeşitli aralıktaki değişimlerinin

yorumlanmasına imkân vermektedir. Bu nedenle AKİ değerlerinin kurak ve sulak dönemlerdeki değişimi görsel olarak yorumlanabilmektedir. Bu açıdan YŞY’nin MK yönteminden üstün olduğu söylenebilir. Bu durum literatürde yer alan ve giriş kısmında verilen çalışmalarda elde edilen sonuçları doğrulamaktadır. Ancak bu çalışma Yeşilirmak Havzası için YŞY’nin MK yönteminden üstünlüğünü ortaya koymuştur.

- YŞY ve MK yöntemine göre 1401 numaralı istasyonda yaz ve sonbahar aylarında kuraklık şiddetinde anlamlı azalış gözlemlenirken, diğer zaman periyotlarında artış eğilimi hakimdir.
- YŞY’ye göre 1402 numaralı istasyonda yaz ve sonbahar aylarında kuraklık şiddetinde anlamlı azalış gözlemlenirken, diğer zaman periyotlarında artış eğilimi hakimdir. MK yöntemine göre 1402 numaralı istasyonda yaz ve sonbahar aylarında kuraklık şiddetinde anlamlı azalış gözlemlenirken, diğer zaman periyotlarında genel olarak anlamlı trend bulunmamaktadır.
- YŞY ve MK yöntemine göre 1413 ve 1414 numaralı istasyonlarda genel olarak istatistiksel açıdan anlamlı artan kuraklık trendleri gözlenmiştir.
- YŞY’ye göre 1418, 1422 ve 1424 numaralı istasyonlarda genel olarak istatistiksel açıdan anlamlı artan kuraklık trendleri tespit edilmiştir. MK yöntemine göre ise genel olarak anlamlı trend bulunmamaktadır.
- Kuraklık açısından artan şiddetlerin hâkim olduğu istasyonlar başta olmak üzere havzanın kuraklık açısından risk yönetiminin etkili bir plan çerçevesinde yapılması önerilmektedir

#### Teşekkür

##### Acknowledgement

Bu çalışma kapsamında kullanılan aylık akım verileri temin eden Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü’ne teşekkür ederiz.

#### Yazar katkısı

##### Author contribution

Bu makalenin yazarları çalışmanın planlanması, gerekli hesaplama ve diğer işlemlerin yapılması, yorumlanması ve makalenin hazırlanması aşamalarına birlikte katkı sağlamışlardır.

**Etik beyanı***Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

**Çıkar çatışması beyanı***Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

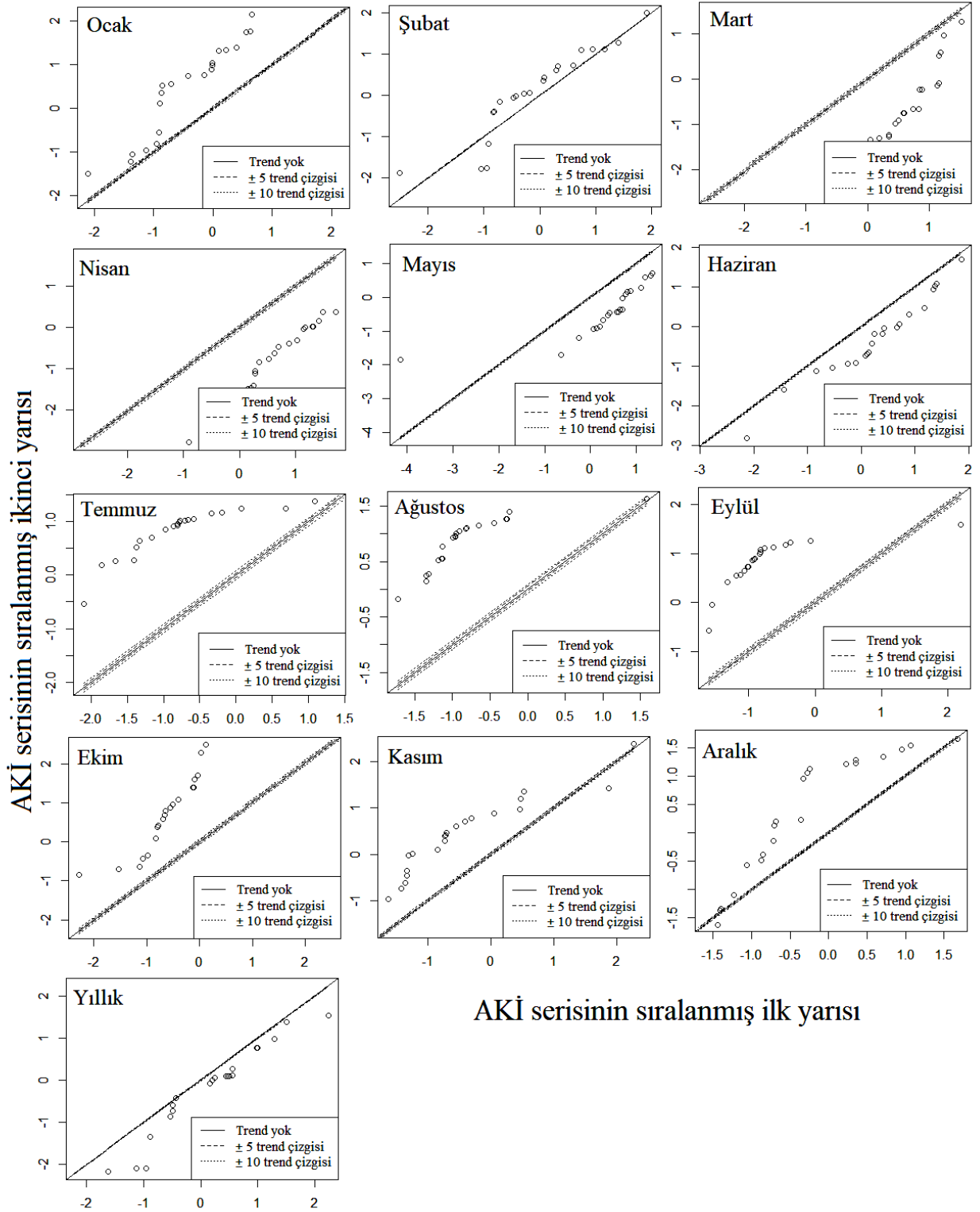
**Kaynaklar***References*

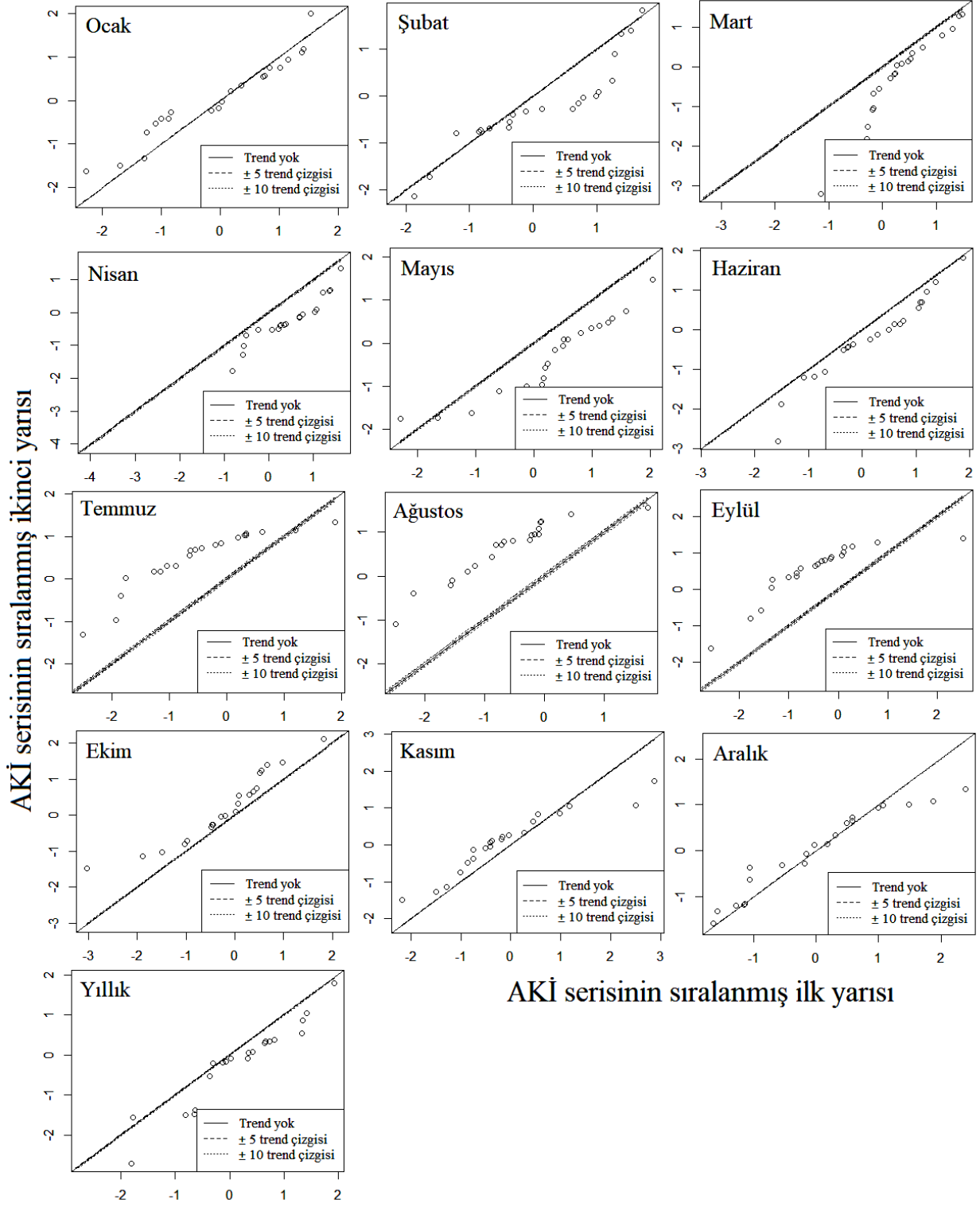
- Ahmed, M. O., & Ogedengbe, K. (2021). Trend analysis of evaporation and solar radiation using innovative trend analysis method. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 13(2), 1030-1055. <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v13i2.22>
- Alifujiang, Y., Abuduwaili, J., Maihemuti, B., Emin, B., & Groll, M. (2020). Innovative trend analysis of precipitation in the Lake Issyk-Kul Basin, Kyrgyzstan. *Atmosphere*, 11(4), 332. <https://doi.org/10.3390/atmos11040332>.
- Berkün, M., Aras, E., & Koç, T. (2008). Barajların ve hidroelektrik santrallerin nehir ekolojisi üzerinde oluşturduğu etkiler. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 45(2): 41-48
- Boustani, A., & Ulke, A. (2020). Investigation of meteorological drought indices for environmental assessment of Yesilirmak Region. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 8(1), 374-81
- Caloiero, T., Coscarelli, R., & Ferrari, E. (2018). Application of the innovative trend analysis method for the trend analysis of rainfall anomalies in southern Italy. *Water Resources Management*, 32(15), 4971-4983, doi: 10.1007/s11269-018-2117-z
- Charbeneau, R. J. (1978). Comparison of the two and three parameter log normal distributions used in streamflow synthesis. *Water Resources Research*, 14(1), 149-150. <https://doi.org/10.1029/WR014i001p00149>.
- Doğan, E., Çeribaşı, G., & Akkaya, U. (2016). Barajların nehir akımı rejimine olan etkilerinin trend analizi yöntemi ile araştırılması: Sakarya Nehri örneği. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(1), 50-55, doi: 10.7212/zkufbd.v6i1.223
- Esmailpour, M., Ghasemi, A. R., Khoramabadi, F., & Rashedi, S. (2021). Spatiotemporal variability of trend in extreme precipitations using fuzzy clustering over Northwest Iran. *Earth Science Informatics*, 14(4), 2123-2132. <https://doi.org/10.1007/s12145-021-00680-9>
- Fischer, T., Gemmer, M., Su, B., & Scholten, T. (2013). Hydrological long-term dry and wet periods in the Xijiang River basin, South China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(1), 135-148. <https://doi.org/10.5194/hess-17-135-2013>, 2013.
- Gumus, V., Simsek, O., Avsaroglu, Y., & Agun, B. (2021). Spatio temporal trend analysis of drought in the GAP Region, Turkey. *Natural Hazards*, 109(2), 1759-1776. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04897-1>
- Gümüş, V., Dinsever, L. D., & Şimşek, O. (2021). Diyarbakır İstasyonunda 1929–2016 Boyunca Tarihsel Kuraklığın Yenilikçi Şen Yöntemi ile Trend Analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 362-373. <https://doi.org/10.21324/dacd.884682>
- Gümüş, V., Yıldız, M. S., & Şimşek, O. (2018). Hidrolojik Kuraklık Değerlendirmesi: Murat Nehri-Palu Örneği. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3), 297-301
- Harms, A. A., & Campbell, T. H. (1967). An extension to the Thomas Fiering Model for the sequential generation of streamflow. *Water Resources Research*, 3(3), 653-661. <https://doi.org/10.1029/WR003i003p00653>
- Hong, X., Guo, S., Zhou, Y., & Xiong, L. (2014). Uncertainties in Assessing Hydrological Drought Using Streamflow Drought Index for The Upper Yangtze River Basin. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(4), 1235–1247. <https://doi.org/10.1007/s00477-014-0949-5>
- Jahangir, M. H., & Yarahmadi, Y. (2020). Hydrological drought analyzing and monitoring by using Streamflow Drought Index (SDI) (case study: Lorestan, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 13(3), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5059-8>
- Katipoğlu, O. M., & Acar, R. (2021). Fırat Havzası'ndaki Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Haritalarının Çeşitli Enterpolasyon Metotları ile Belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 298-317. <https://doi.org/10.21324/dacd.853893>
- Kurunc, A., Yurekli, K., & Cevik, O. (2005). Performance of two stochastic approaches for forecasting water quality and streamflow data from Yeşilirmak River, Turkey. *Environmental Modelling & Software*, 20(9), 1195-1200. doi:10.1016/j.envsoft.2004.11.001
- Li, J., Zhou, Q., & Yeh, W. W. G. (2020). A Bayesian hierarchical model for estimating the statistical

- parameters in a three-parameter log-normal distribution for monthly average streamflows. *Journal of Hydrology*, 591, 125265. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125265>
- Malik, A., Kumar, A., Pham, Q. B., Zhu, S., Linh, N. T. T., & Tri, D. Q. (2020). Identification of EDI trend using Mann-Kendall and Şen-innovative trend methods (Uttarakhand, India). *Arabian Journal of Geosciences*, 13(18), 1-15, [10.1007/s12517-020-05926-2](https://doi.org/10.1007/s12517-020-05926-2)
- Myronidis, D., Ioannou, K., Fotakis, D., & Dörflinger, G. (2018). Streamflow and hydrological drought trend analysis and forecasting in Cyprus. *Water Resources Management*, 32(5), 1759-1776. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1902-z>
- Nalbantis, I. (2008). Evaluation of a hydrological drought index. *European Water*, 23(24), 67-77
- Özfidaner, M., Şapolyo, D., & Topaloğlu, F. (2018). Seyhan havzası akım verilerinin hidrolojik kuraklık analizi. *Toprak Su Dergisi*, 7(1), 57-64
- Partal, T., & Yavuz, E. (2020). Batı Karadeniz Bölgesinde Kuraklık İndisleri Üzerine Trend Analizi Uygulanması. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(2), 345-353. <https://doi.org/10.21324/dacd.643161>
- Pathak A. A., Channaveerappa., & Dodamani B. M. (2016) Comparison of two hydrological drought indices. *Perspectives in science*, 8(Supplement C):626-628. <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.06.039>
- Şen Z. (2012). Innovative Trend Analysis Methodology, *Journal of Hydrologic Engineering*, 17, 1042-1046. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000556)
- Şen, Z. (2017). Innovative trend significance test and applications. *Theoretical and applied climatology*, 127(3-4), 939-947, doi: [10.1007/s00704-015-1681-x](https://doi.org/10.1007/s00704-015-1681-x)
- Tigkas, D., Vangelis, H., & Tsakiris, G. (2012) Drought and climatic change impact on streamflow in small watersheds. *Science of the Total Environment*, 440:33-41. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.035>
- Tigkas, D., Vangelis, H., & Tsakiris, G. (2015). DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, 8(3), 697-709. <https://doi.org/10.1007/s12145-014-0178-y>
- Tosunoglu, F. & Kisi, O. (2017). Trend Analysis of Maximum Hydrologic Drought Variables Using Mann-Kendall and Şen's Innovative Trend Method. *River Research and Applications*, 33: 597- 610. <https://doi.org/10.1002/rra.3106>
- Gümüş, V. (2017). Akım Kuraklık İndeksi ile Asi Havzasının Hidrolojik Kuraklık Analizi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 5 (1), 65-73. <https://dergipark.org.tr/en/pub/gujsc/issue/28467/303415>.
- Yeh, C. F., Wang, J., Yeh, H. F., & Lee, C. H. (2015). SDI and Markov chains for regional drought characteristics. *Sustainability*, 7(8), 10789-10808. <https://doi.org/10.3390/su70810789>
- Yıldız, M. S. (2019). Akım kuraklık indeksi yöntemi ile fırat havzasının hidrolojik kuraklık analizi [Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]
- Yılmaz, M. U., Özgür, E., & Koçak, K. (2016). Monthly Streamflow Prediction of Yesilirmak Basin by Using Chaotic Approach. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 9(2), 18-22
- Yılmaz, B. (2019). Analysis of hydrological drought trends in the gap region (southeastern Turkey) by Mann-Kendall test and innovative sen method. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 3325-3342, doi: [10.15666/aeer/1702\\_33253342](https://doi.org/10.15666/aeer/1702_33253342)
- Yue, Sh., Pilon, P., Phinney, B., & Cavadias, G. (2002) The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes*, 16(9):1807-1829. <https://doi.org/10.1002/hyp.1095>
- Zhang, Q., Li, J., Singh, V. P., & Bai, Y. (2012) SPI-based evaluation of drought events in Xinjiang, China. *Natural Hazards*, 64:481-492. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0251-0>

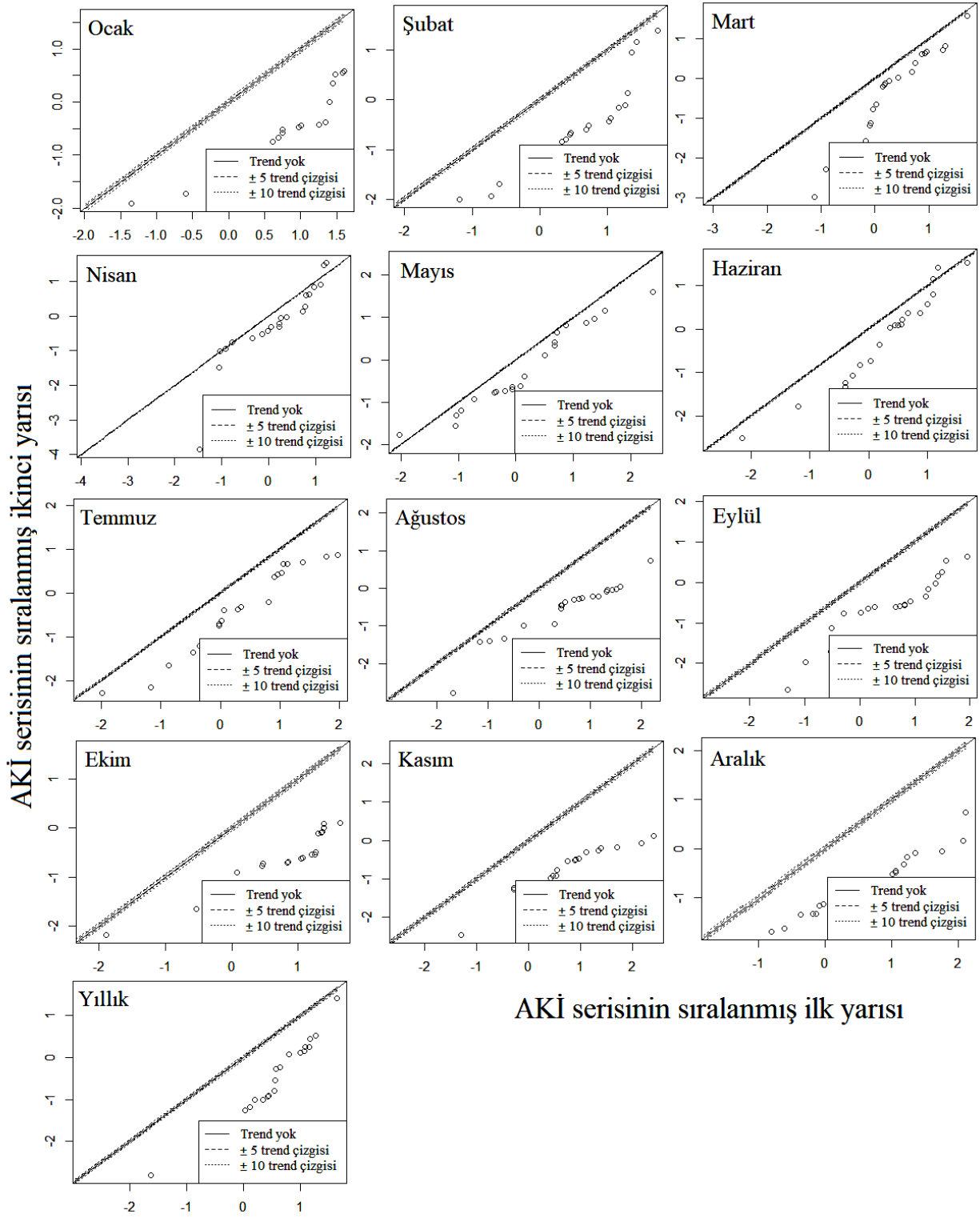


## Ekler

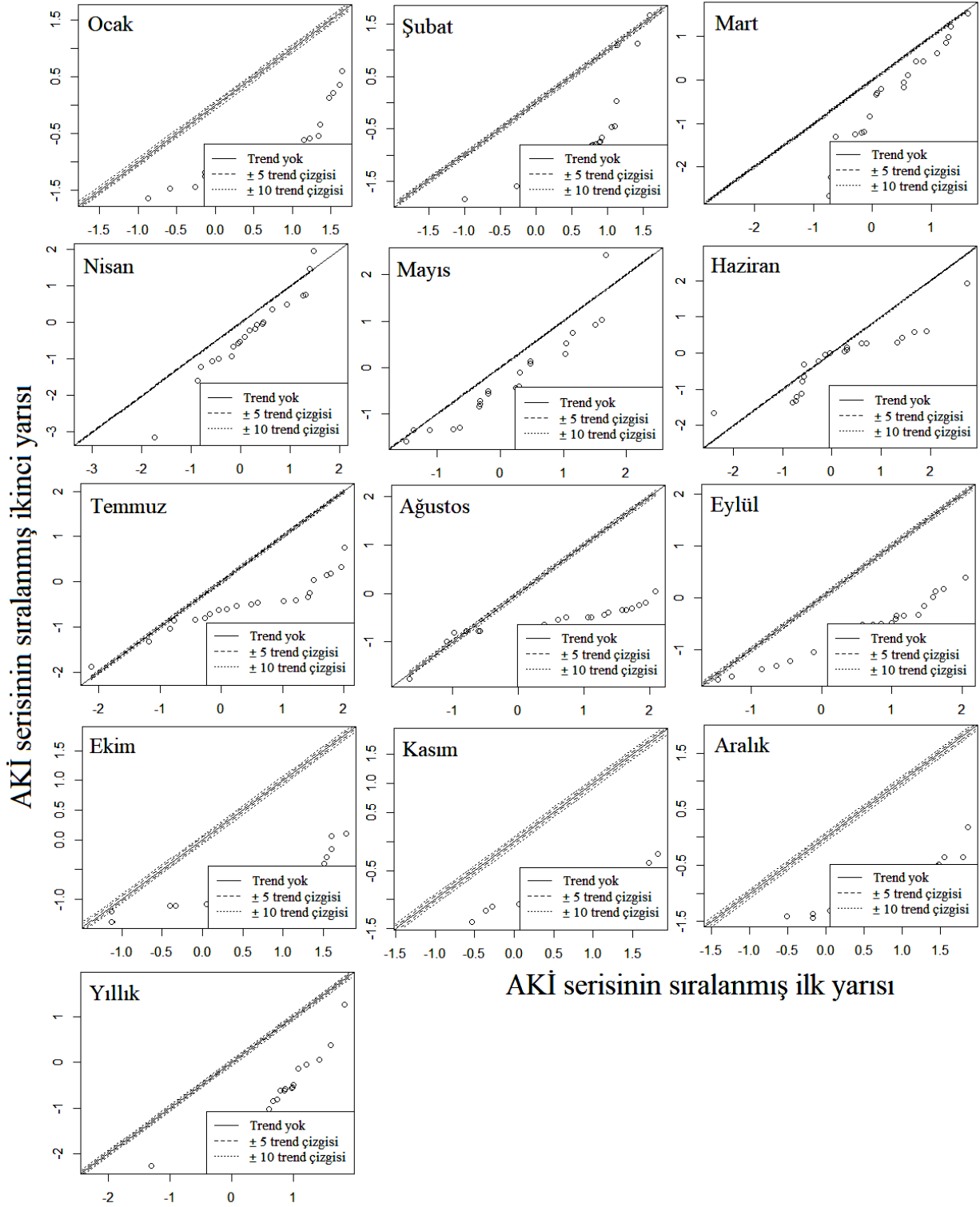




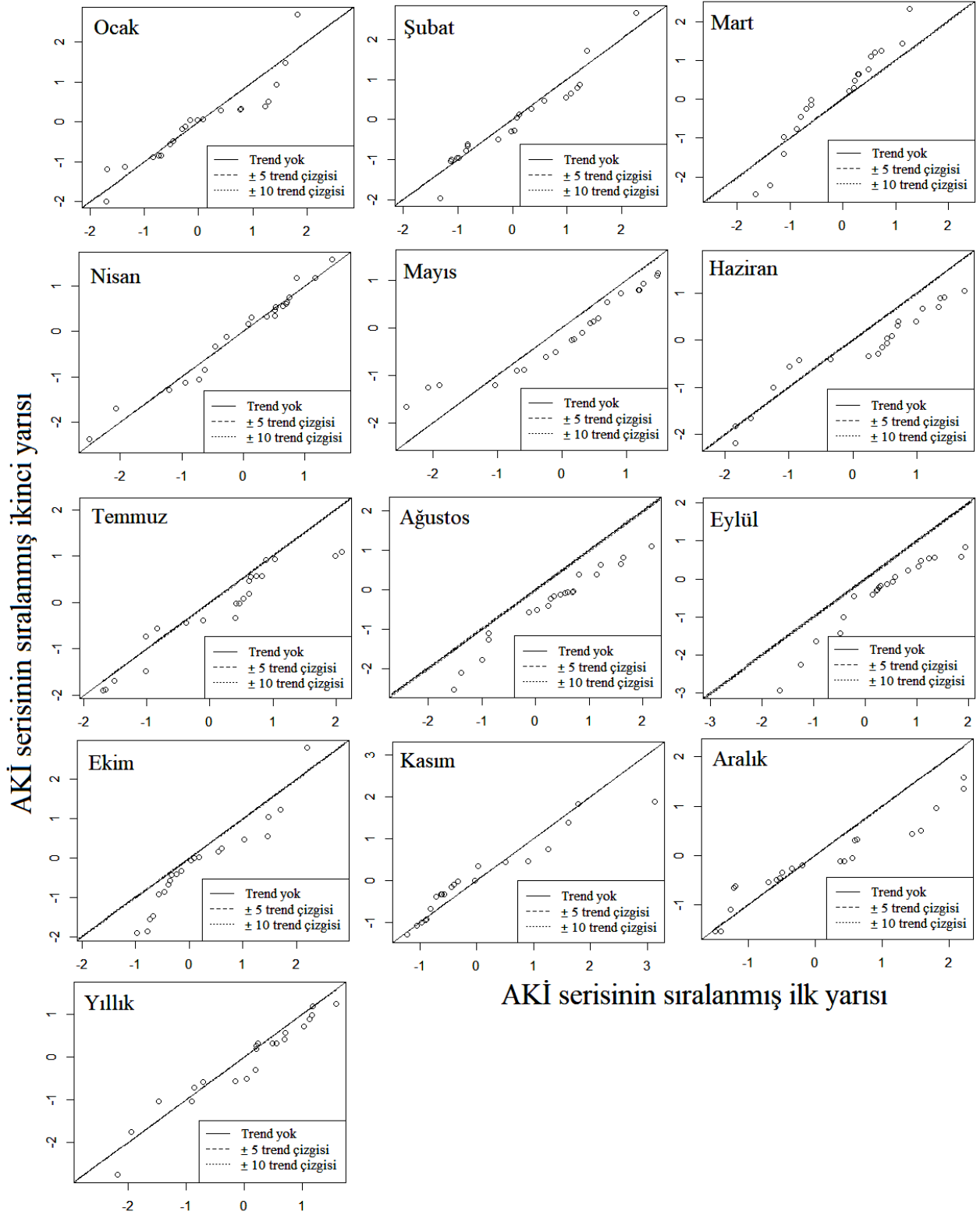
Şekil 7. 1402 akım gözlem istasyonuna ait AKİ değerlerinin YŞY ile trend analizi



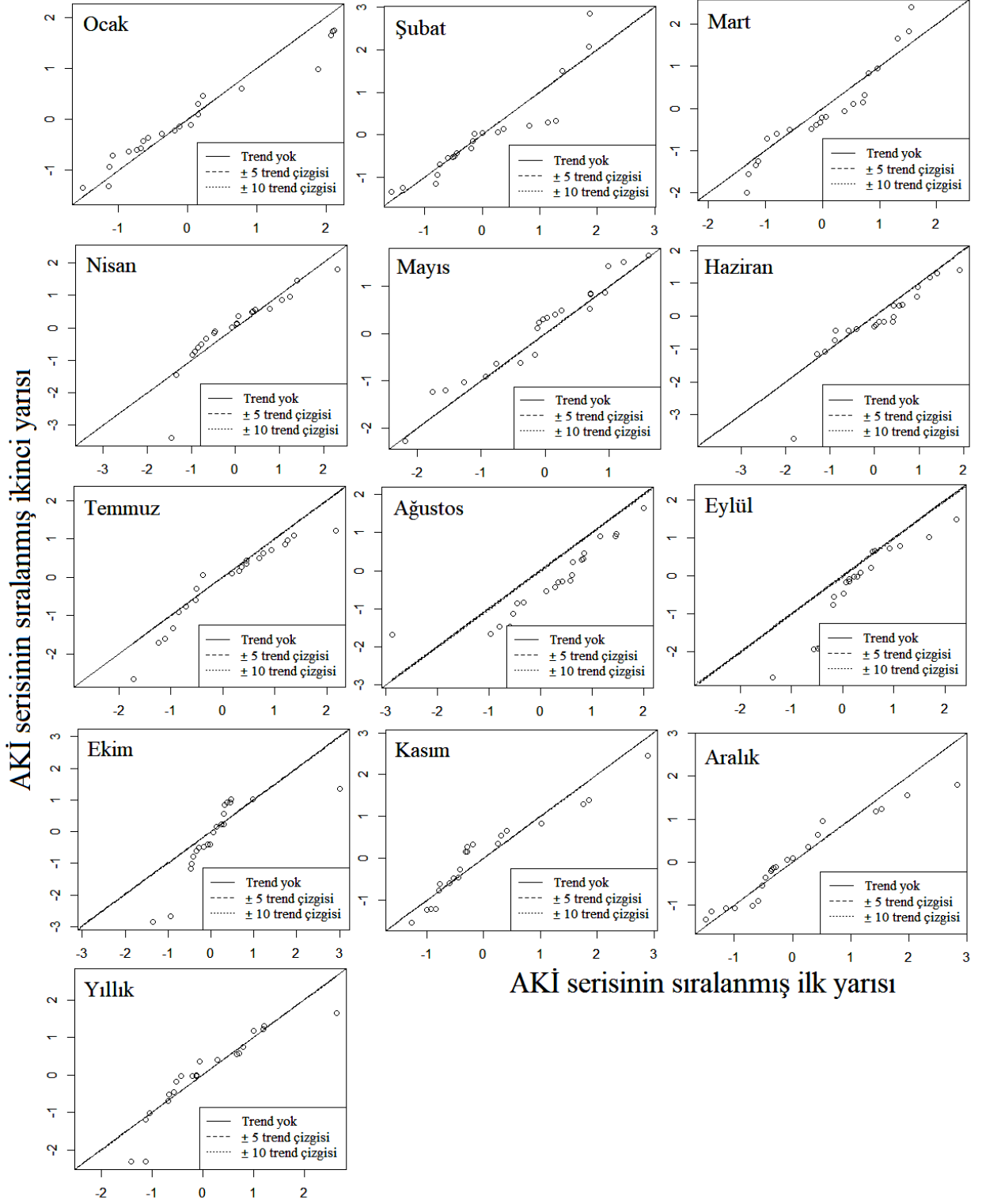
Şekil 8. 1413 akım gözlem istasyonuna ait AKİ değerlerinin YŞY ile trend analizi



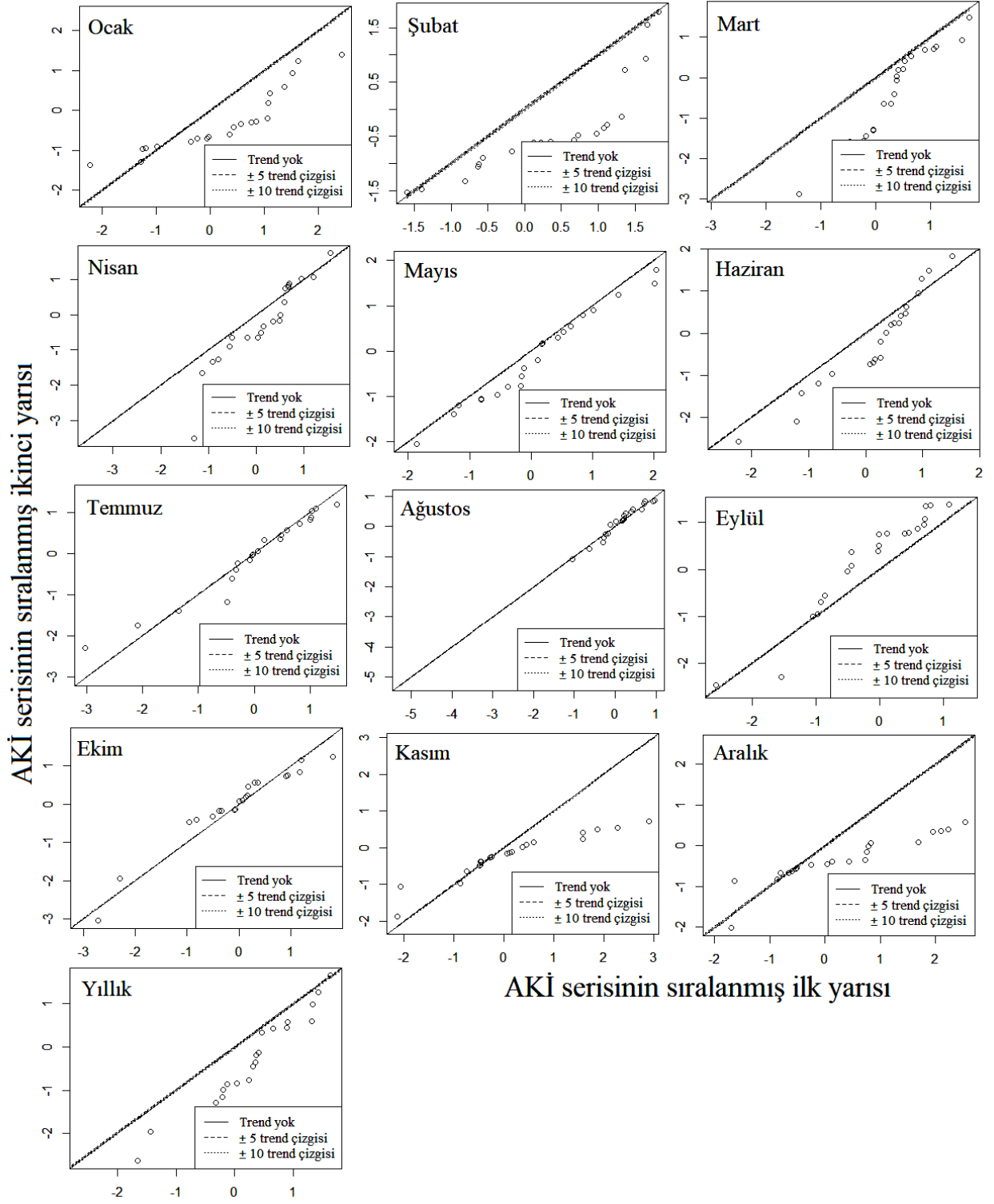
Şekil 9. 1414 akım gözlem istasyonuna ait AKİ değerlerinin YŞY ile trend analizi



Şekil 10. 1418 akım gözlem istasyonuna ait AKİ değerlerinin YŞY ile trend analizi



Şekil 11. 1422 akım gözlem istasyonuna ait AKİ değerlerinin YŞY ile trend analizi



Şekil 12. 1424 akım gözlem istasyonuna ait AKİ değerlerinin YŞY ile trend analizi

# Türkçe metinlerde makine öğrenmesi yöntemleri ile siber zorbalık tespiti

## *Cyberbullying detection with machine learning methods in Turkish texts*

Enver YAZĞILI<sup>\*1,a</sup>, Muhammet BAYKARA<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> Munzur Üniversitesi Tunceli Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Programcılığı Bölümü, 62000, Tunceli

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, 23000, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 10.05.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 11.01.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 01.02.2022

### Öz

İnternet kullanımının yaygınlaşması ve sosyal medya platformlarının popülaritesinin artması siber zorbalık olarak adlandırılan eylemlerin hızla yayılmasına neden olmuştur. Dünya genelinde siber zorbalığa maruz kalan kişilerin sayısı her geçen gün artmaktadır ve bu da mağdurlar üzerinde büyük etkiler yaratmaktadır. Bu eylemin tespit edilmesi, yeni mağdurların ortaya çıkmaması ve mevcut mağdurların daha fazla bu eyleme maruz kalmaması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu noktada literatürde siber zorbalık tespitine yönelik birçok çalışmanın gerçekleştirildiği görülmüş ancak Türkçe metinlerde yapılan çalışma sayısının çok az olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada kaggle adlı paylaşım sitesinden elde edilmiş ve manuel olarak oluşturulan 3000 cümlelik hazır Türkçe bir veri seti üzerinde doğal dil işleme yöntemleri kullanılarak siber zorbalık tespiti gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan veri setinin yeni olması ve bildiğimiz kadarıyla bu kadar çok sayıda algoritmanın literatürde test edilmemiş olması nedeniyle bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmada bu veri seti üzerinde Bagging, Boosting, C4.5, Gradient Boosting, K-Means, KNN, LR, NB, ANN, RO, DVM, Stokastik Gradient Descent ve XGBoost algoritmaları karşılaştırmalı olarak ilk kez kullanılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Bilgi güvenliği, Makine öğrenmesi, Siber güvenlik, Siber suç, Siber zorbalık, Veri analizi

### Abstract

Undoubtedly, the widespread use of the internet and the increasing popularity of social media platforms have caused the rapid spread of the actions called cyberbullying. The number of people subjected to cyberbullying throughout the world is increasing day by day and it has a great impact on their victims. Identifying this action is of great importance in terms of preventing the emergence of new victims and not being exposed to this action any more. At this point, it has been observed that many studies have been carried out in the literature on the detection of cyberbullying, but it has been determined that the number of studies in Turkish texts is very low. It is thought that this study will contribute to the literature because the dataset used in the study is new and to the best of our knowledge, such a large number of algorithms have not been tested in the literature. In the study, Bagging, Boosting, C4.5, Gradient Boosting, K-Means, KNN, LR, NB, ANN, RO, DVM, Stochastic Gradient Descent and XGBoost algorithms were used comparatively for the first time on this data set.

**Keywords:** Information security, Machine learning, Cyber security, Cyber crime, Cyberbullying, Data analysis

<sup>\*a</sup> Enver YAZĞILI; enveryazgili@munzur.edu.tr, Tel: (0536) 365 62 21, orcid.org/ 0000-0001-8459-3488

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-5223-1343



## 1. Giriş

### 1. Introduction

Siber zorbalık, bir bireyin veya bir grubun bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanarak başka kişilere veya gruplara tehdit, aşağılama, şantaj, dışlama, kızdırma, kışkırtma veya buna benzer içerikler barındıran mesajları tekrarlı olarak göndermesiyle gerçekleştirdiği eylemler olarak tanımlanabilir (Barlet, 2019). Siber zorbalık, klasik zorbalık türünden farklı olarak siber zorbalıların sosyal medya platformları aracılığıyla daha fazla kitleye erişim imkânı bulmaları, bu eylemi gerçekleştiren kişi veya grupların kimliklerini gizleyebilme imkânı bulabilmeleri ve kullanıcıların fiziksel üstünlüğe ihtiyaç duymadan bu eylemi gerçekleştirebiliyor olmaları nedeniyle daha hızlı yayılmaktadır. Ayrıca bu tür iletişim ve sosyal medya araçlarını kullanan kullanıcıların genç, savunmasız ve korunmaya muhtaç kişilerden oluşması siber zorbalığa daha fazla maruz kalmalarına neden olmaktadır. Siber zorbalığa maruz kalan kişilerde; çoğu zaman kendilerini toplumdan soyutlama, itibarlarının kaybedilmesi, aile ve iş hayatlarının alt üst olması, depresyon ve bunun sonucunda da intiharın eşiğine gelme durumları görülebilmektedir. Bu sonuçlar durumun ne kadar vahim olduğunu gözler önüne sermektedir. 2019 yılı TÜİK verilerine göre Türkiye'de 16-74 yaş aralığındaki bireylerin %75.3'ünün İnternet kullandığı, bu sayının 2020 yılında ise %79.0'a yükseldiği açıklanmıştır (TÜİK, 2020). Bu da bize dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de siber zorbalık eylemlerinin gerçekleştirilmesi için uygun zeminin olduğunu göstermektedir. Bu nedenle Türkçe veri setleri üzerinde yapılacak bir çalışma ülkemizde siber zorbalığın tespit edilmesinde önemli ölçüde yarar sağlayacaktır. Yapılan bir başka çalışmada ise bu tür eylemlerin sıklıkla Facebook ve Twitter gibi sosyal paylaşım sitelerinde ve kişisel mobil iletişim araçları üzerinde meydana geldiğini göstermektedir (Balakrishnan vd., 2019). Her ne kadar söz konusu platformlar siber zorbalığa yönelik tedbirler almış olsa da bu tedbirler yeterli olmamakta ve siber zorbalığı engelleyememektedir. Bu nedenle siber zorbalığın bu alanlarda hızlı ve güvenilir bir şekilde tespit edilmesi çok önemlidir. Siber zorbalık, geniş kitlelere yayılması ve henüz tam anlamıyla tespitini gerçekleştiren bir çalışmanın yapılmamış olması nedeniyle son yıllarda araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Bu alanda birçok çalışma gerçekleştirilmiş ve yeni çalışmaların devam ettiği görülmüştür. Yapılan çalışmalarda olumlu sonuçlar elde edilmiş olsa da siber zorbalığın anlık ve doğru tespiti henüz tam olarak

gerçekleştirilmemiştir. Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de siber zorbalığın hızla yayılıyor olması, çalışmaların genellikle farklı dil yapılarında oluşturulmuş veri setleri üzerinde gerçekleştirilmiş olması ve bunun yanında Türkçe metinlerden oluşan veri setleri üzerinde yapılan çalışma sayısının ise yok denecek kadar az sayıda olması bu çalışmanın gerçekleştirilmesine ilham vermiştir. Bu çalışmada Türkçe metinlerden oluşan hazır bir veri seti kullanılarak siber zorbalık tespiti gerçekleştirilmiş, Bagging, Boosting, C4.5, Gradient Boosting, K-Means, KNN, LR, NB, YSA, RO, DVM, Stochastic Gradient Descent ve XGBoost olmak üzere onüç adet sınıflandırma algoritmasının performansları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde önerilen model, veri seti, veri ön işlemleri ve makine öğrenme algoritmalarının nasıl kullanıldığı ile ilgili yöntemler kısaca açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar verilmiş olup, gelecekte yapılması amaçlanan çalışmalar belirtilmiştir.

### 1. İlgili çalışmalar

#### 2. Related studies

Literatürde siber zorbalığın tespitine, analizine ve gruplandırılmasına yönelik birçok farklı çalışma bulunmaktadır. Ancak tespit çalışmalarında kullanılan veri setlerinin çoğunun İngilizce veya farklı dillerden elde edilmiş veri setleri olduğu tespit edilmiştir (Agrawal & Aweka, 2018; Al-Mamun & Akhter, 2018; Balakrishnan vd., 2019; Balakrishnan vd., 2019; Dadvar vd., 2012; Duwairi vd., 2014; Fortunatus vd., 2020; Hosseinmardi vd., 2015; Hussain vd., 2018; Kepez, 2021; MinSong & Song, 2020; Modha vd., 2020; N-Garci'a vd., 2015; Shekhar & Mathangi, 2018; Squicciarini vd., 2015; Venckauskas vd., 2017; Zois vd., 2018).

Balakrishnan vd. (2019) kişilik özelliklerini kullanarak siber zorbalığın tespitine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada Twitter'dan elde ettikleri 9484 tweet veri kümesinde tekrar, takipçi, takip, popülerlik, favori, durum ve hash sayısı şeklinde etiketlendirmeler yapmışlardır. Sınıflandırma için Rastgele Orman (RO) algoritması kullanılmıştır. Bu çalışmada kişilik verisinin siber zorbalık tespitinde önemli ölçüde iyileştirme sağladığını tespit etmişlerdir. Ayrıca dışa dönüklük, uyumluluk, nevroitiklik ve psikopati zorbalığı tespit etmede % 96 kesinlik, % 95 hatırlama oranlarında başarı elde etmişlerdir (Balakrishnan vd., 2019).

**Bozyiğit vd. (2021)** Siber zorbalık tespitine yönelik Twitter'dan elde ettikleri Türkçe 5000 etiketli içerik üzerinde metin bazlı tespitin yanında sosyal medya özelliklerindeki dikkate alarak siber zorbalık tespiti gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada veri seti üzerinde Ki-kare testi uygulanarak LR, RF, DVM, AdaBoost, NBM ve KNN algoritmaları kullanmışlardır. Yapılan karşılaştırmada en iyi sonucun DVM algoritması ile elde edildiğini tespit etmişlerdir (Bozyiğit vd., 2021).

**Yılmaz vd. (2021)** OffensEval veri seti üzerinde saldırgan dil tespitine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Siber zorbalık tespitine yönelik Twitter'dan elde ettikleri yaklaşık 1 milyon etiketsiz Türkçe tweet ile etiketli OffensEval veri setindeki kelime temsillerinin sınıflandırma performansına olan etkisi kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmada Uzun Kısa Dönemli Bellek (LSTM) ve Çift Yönlü Uzun Kısa Dönemli Bellek (BiLSTM) ağları kullanmışlardır. Büyük veri kümelerinde Derin Sinir Ağları kullanımının F1 skorunda %40-%47 arasında iyileştirme elde edildiğini tespit etmişlerdir (Yılmaz vd., 2021).

**Bozyiğit vd. (2019)** Siber zorbalık tespitine yönelik Twitterden elde ettikleri 3000 tweet üzerinde tasarladıkları YSA modellerini uygulamış, bu modellerden YSA2 ile %91 F1 skoru ile en iyi başarıyı elde etmişlerdir (Bozyiğit vd., 2019).

**Balakrishnan vd. (2019)** sosyal medya kullanıcılarının kişilik, duyu gibi psikolojik özelliklerinden yararlanarak siber zorbalık tespitine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Twitter'dan elde ettikleri 5453 tweet ile bir veri seti oluşturmuş ve NB, RO ve J48 makine öğrenimi sınıflandırma algoritmalarını kullanmışlardır. Yapılan çalışmada kişilik verilerinin siber zorbalık tespiti üzerinde olumlu bir etki gösterdiği ancak duygular için aynı etkinin gerçekleşmediği görülmüştür. %92.88'lik başarı oranıyla J48 algoritmasının en iyi performansı verdiğini tespit etmişlerdir (Balakrishnan vd., 2019).

**Modha vd. (2020)** siber zorbalığı tespit ve görselleştirmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarında kullandıkları verileri dört grupta etiketlendirmişlerdir. Siber zorbalık içeren yorumların görselleştirilmesi için ise Facebook ve Twitter üzerinden bir web eklentisi olarak kullanıcı arayüzü tasarlamışlardır. Bu eklenti ile standart Trolling Aggression Cyberbullying 2018 (TRAC) veri kümesi kullanılarak Facebook ve Twitter üzerinden yayınlanan yorumlar ile İngilizce ve Hintçe olarak yeni bir veri kümesi oluşturulmuştur. Sınıflandırmalar için Destek Vektör Makinesi

(DVM), Lojistik Regresyon (LR), Evrişim Sinir Ağına (CNN) dayalı derin öğrenme modeli, Dikkat Temelli Model ve Google AI tarafından yakın zamanda önerilen BERT önceden eğitilmiş dil modeli gibi çeşitli sınıflandırıcılar kullanılmıştır. İngilizce ve Hintçe verilerde farklı sınıflandırma algoritmalarının başarımları gözlemlenmiştir (Modha vd., 2020).

**MinSong ve Song (2020)** Kore'de siber zorbalık eylemindeki rollerin tespitine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarında haber sitelerinden, bloglardan, çevrim içi gruplardan, sosyal ağ hizmetlerinden ve buna benzer 227 çevrim içi kanaldan topladıkları 103212 veri ile bir veri seti oluşturmuşlardır. Veri madenciliği yöntemleri ve karar ağacı analizi kullanarak siber zorbalık eylemlerinde % 32.3'ü kurbanlar, % 6.4'ü failler ve % 5.3'ü izleyenlerden oluştuğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca bu tür eylemlerde dürtü faktörünün oluşacak risk faktörü üzerinde önemli ölçüde etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (MinSong & Song, 2020).

**Fortunatus vd. (2020)** siber zorbalığın tespitine yönelik Facebook yorumlarında metinsel analizler yaparak elde edilen veri seti Lexicon gelişmiş kural tabanlı algoritma ile sınıflandırmışlardır. Kullanılan algoritmanın doğruluk, kesinlik, geri çağırma ve F1 skoru performans ölçümleri sonucunda % 95.981'lik bir başarımla elde etmişlerdir (Fortunatus vd., 2020).

**Agrawal ve Awekar (2018)** siber zorbalık tespitine yönelik Formspring (~12k gönderi), Twitter (~16.000 gönderi) ve Wikipedia (~100.000 gönderi) sitelerinden elde ettikleri üç farklı veri seti üzerinde derin öğrenmeye dayalı modellerle bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çeşitli geleneksel makine öğrenimi modelleri (LR, DVM, RO, Naive Bayes (NB)) ve derin sinir ağ modelleri (CNN, LSTM, BLSTM, BLSTM with Attention), kelimeler için temsil yöntemleri (n-gram karakter çantası, unigram kelime çantası, GloVe düğümleri, SSWE düğümleri) performansları karşılaştırılmış ve 0.95 F1 skoru ile derin öğrenme modelinin yüksek performanslara ulaştığı tespit edilmiştir (Agrawal & Aweka, 2018).

**Hosseinmardi vd. (2015)** siber zorbalık tespitinde instagramdan elde ettikleri görseller ve bu görsellere yapılan yorumlarda siber zorbalığın tespitine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. NB ve lineer DVM algoritmaları ile sınıflandırmada metin ve görsel verilerde lineer DVM algoritmasının %87 lik başarı elde ettiğini tespit etmişlerdir (Hosseinmardi vd., 2015).

N-Garci'a vd. (2015) siber zorbalığın tespitine yönelik Twitter'dan elde ettikleri veriler ile veri seti oluşturmuş, daha sonra sınıflandırma için RO, J48, K-Nearest Neighbor (KNN) ve Sequential Minimal Optimization (SMO) algoritmalarını kullanmışlardır. Sonuçlar, SMO ve Karar Ağaçlarının % 68.47 doğruluk oranıyla en uygun algoritmalar olduğunu göstermiştir (N-Garci'a vd., 2015).

Dadvar vd. (2014) siber zorbalık tespitinde genellikle metin bazlı yapılan çalışmaların aksine siber zorbalığı gerçekleştiren bireylerin cinsiyet tespitine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. MySpace'den elde ettikleri veri seti üzerinde DVM sınıflandırma algoritması kullanılarak ve 10 kat çaprazlama sonucunda %40-%44 doğruluk oranları elde edilmiştir (Duwairi vd., 2014).

Squicciarini vd. (2015) The Mypace ve Formspring'den elde ettikleri veri setlerini kullanarak, sosyal ağlarda siber zorbalık tespiti ile siber zorbalık ve kullanıcılar arasındaki ikili

etkileşimleri tanımlamaya yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Squicciarini vd., 2015). Bir benzer çalışma da Al-Mamun ve Akhter'in bangle dili kullanılarak siber zorbalığın tespit edilmesine yönelik olan çalışmalarıdır. Yapılan çalışmada Twitter'dan elde edilen İngilizce ve Banglece iki veri kümesi NB, DVM, J48 ve KNN algoritmaları ile sınıflandırılarak bu algoritmaların performansları karşılaştırılmış ve DVM algoritmasının her iki dil yapısında da en iyi sonucu elde ettiği tespit edilmiştir (Al-Mamun & Akhter, 2018).

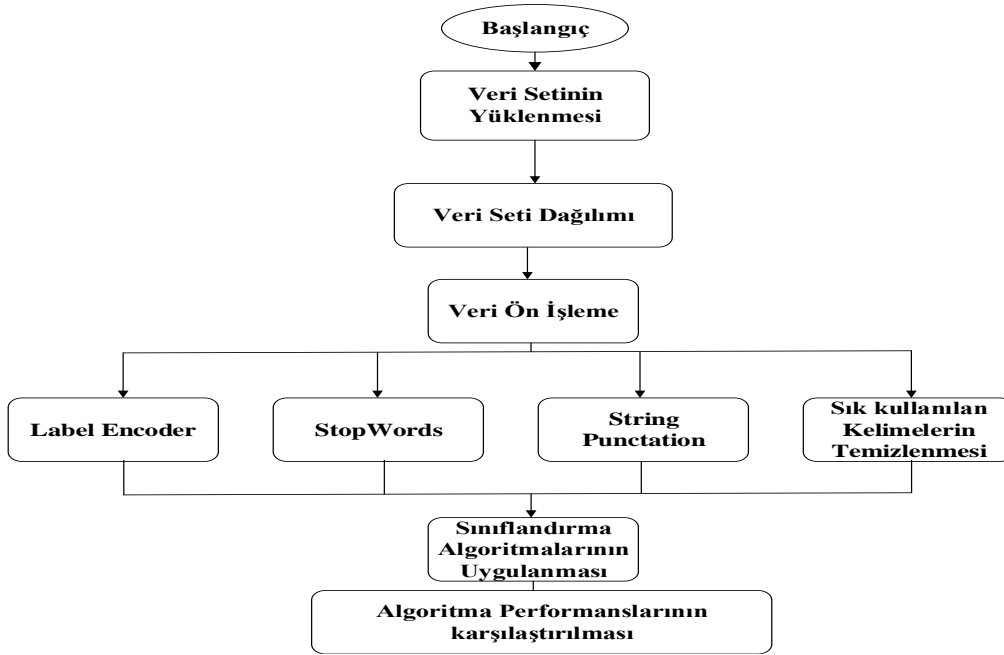
## 2. Materyal ve metot

### 3. Material and method

#### 3.1. Önerilen model

##### 3.1. Recommended model

Siber zorbalığın tespitine yönelik izlenecek yol ve önerilen modele ait algoritma, Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Önerilen modele ait algoritma

Figure 1. Algorithm of the proposed model

Bu çalışmada kullanılan doğal dil işleme, yapay zekânın bir alt kategorisidir. Doğal dil işleme yöntemleri günlük konuşma dillerinin makine dillerinin algılayabileceği yapıya dönüştürülmesi için kullanılan yöntemlerin bütünü temsil etmektedir. Bu bağlamda çalışmada kullanılan yöntemler keşifsel veri analizi, veri ön işleme ve makine öğrenmesi algoritmalarının kullanılması olarak üç kısma ayrılmıştır.

#### 3.2. Veri setinin dağılımı

##### 3.2. Distribution of the dataset

Bu çalışmada kullanılan veri seti 1497 adet negatif (siber zorbalık içermeyen), 1503 adet pozitif (siber zorbalık içeren) ve toplamda 3000 satırdan oluşmaktadır. Veriler iki sütundan oluşan xlsx tabloya aktarılmıştır. İlk sütun mesajın kendisini, ikinci sütun ise bu mesajın siber zorbalık içerip içermediğini gösteren ikili bir tam sayıdır. Kaggle

adlı paylaşım sitesinden alınan bu hazır veri setinde pozitif ve negatif etiketlendirmeler manuel olarak

gerçekleştirilmiştir (Kepez, 2021). Kullanılan veri setinin bir kısmı Şekil 2’de görülmektedir.

1	message	cyberbullying
2	1.0 rabbim kalan ömrünü geçen ömründen hayırlı eylesin	0.0
3	2.0 bir ateist olarak bu resmi gördükçe gözyaşlarıma mani olamıyorum	0.0
4	3.0 oo süpersin azıcık bize de bulaşsa	0.0
5	4.0 bende biliyorum benden bı bok olmıcak	1.0
6	5.0 nerdesin len tirrek	1.0
7	6.0 dogruyusoyleyince kadro verince adalet yerini bulacak	0.0
8	7.0 ogrenciler hocalarına memleket durusuna hayran	0.0
9	8.0 gunaydin hala yatakta olanlar eminim elinizde telefon aletinizde tad gibidir hadi sanalda sabah keyfi yapalim	0.0
10	9.0 artist pezevenk takimi yakti rezildi	1.0
11	10.0 ve o narinlikte ve sevimlilikte cüce öylesine acımasızca zibh eğliyip	0.0
12	11.0 off defol git surdan cüce	1.0
13	12.0 lüks yaşam bu muulan gerizeka lüks hayatları olsa o poşetleri taşıyan hizmetçileri olurdu	1.0
14	13.0 beştepe millet kültür ve kongre merkezi nden elektrik santralleri toplu açılış törenine telekonferansla bağlandı cumhurbaşkanı	0.0
15	14.0 taehyung ne bulsan giyiyon ama yakışıyor ha ibne 1 namjoon 2 sen kezban gibi giyinsenizde aşığım	1.0
16	15.0 hava gavur şeyi gibi yanıyor diyorlar ama o konuda hiç tecrübem yok bilemiyorum	1.0

**Şekil 2.** Kullanılan veri setinden bir bölüm

**Figure 2.** A section from the data set used

### 3.3. Veri ön işleme

#### 3.3.1. Data preprocessing

##### 3.3.1.1. Label encoder yapılması

###### 3.3.1.1.1. Making a label encoder

Label encoder veriyi bire bir sayısallaştırmaya yarar. Bu uygulamanın amacı makine öğrenmesi algoritmaları için uygun girdilerin oluşturulmasıdır. Bu çalışmada kullanılan veri setinde paylaşımların siber zorbalık durumunu belirten “Pozitif” ve “Negatif” adı altında iki farklı kategorik değer bulunmaktadır. Buradaki özniteliği belirten kategorik değişkenlerin sayısallaştırılarak 0-1 değerlerine dönüştürülmesi manuel olarak veri setinde hazır olarak gerçekleştirilmiştir.

##### 3.3.1.2. Etkisiz kelimelerin veri setinden çıkarılması (Stopwords)

###### 3.3.1.2.1. Removal of ineffective words from the dataset (Stopwords)

Etkisiz kelimeler genel olarak bir dilde çok sık kullanılan (Türkçede: “bir”, “bu”, “şu”, “ne”, “nasıl” gibi) ve bu nedenle hem arama motorları hem de makine öğrenmesi algoritmalarında gözardı edilen kelimelerdir. Söz konusu kelimelerin veri setinden çıkarılmasının temel nedenleri hemen her cümlede kullanılmalarının yanında cümleye anlamsal bir etki sağlamaması, buna bağlı olarak yapılan analizlerde iş yüküne neden olması ve hatta algoritmaları negatif yönde etkileyip daha isabetsiz bir sınıflandırma yapmalarına sebep olmalarıdır. Bu amaç doğrultusunda etkisiz verilerin veri setinden çıkarılması için Türkçe dil yapısına uygun oluşturulmuş ve Python dilinde NLP (doğal dil işleme) modülü olan NLTK (Natural Language Toolkit) kütüphanesiyle birlikte hazır bir

fonksiyon olan Stopwords fonksiyonu kullanılmıştır.

##### 3.3.1.3. Özel karakterlerin temizlenmesi

###### 3.3.1.3.1. Clearing special characters

Kullanılan veri seti içerisinde bulunan "!"()-[]{};:'"\,<.>./?@#\$\$%^&\*~" gibi noktalama işaretleri ve özel karakterler makine öğrenmesi algoritmalarını negatif yönde etkilemesi nedeniyle veri setinden temizlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir.

##### 3.3.1.4. Sık kullanılan kelimelerin temizlenmesi

###### 3.3.1.4.1. Cleaning up frequently used words

Yine etkisiz kelimelerde olduğu gibi bir veri seti içerisinde sık kullanılan ve herhangi bir önem arz etmeyen kelimelerin veri seti içerisinde temizlenmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir.

##### 3.3.1.5. Paylaşımlarda bulunabilecek emojilerin kaldırılması

###### 3.3.1.5.1. Removing emojis that can be shared

Sosyal paylaşım sitelerinde yapılan paylaşımların çoğunda emojiler kullanılmaktadır. Bu noktada yapılan çalışmanın daha kapsamlı bir şekilde analizinin gerçekleştirilmesi ve daha sağlıklı sonuçların elde edilmesi için emojilerin cümle içerisinde ne amaçla kullanıldığının tespit edilmesi ve bunlara uygun kelime karşılıklarının veri setine eklenmesi gerekmektedir. Ancak bu çalışmada kullanılan veri seti manuel olarak oluşturulduğu ve emojiler içermediğinden dolayı veri setinde buna yönelik bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Sonuç olarak metin üzerinde aşağıdaki adımlar bir fonksiyon içinde tanımlanarak adım adım gerçekleştirilmektedir.

- İlk etapta veri seti içerisindeki harflerin tümü küçük harfe dönüştürülmektedir.
- Özel karakterler, Türkçe karakter karşılıkları ile değiştirilmektedir.
- Veri seti içerisindeki noktalama işaretleri ve rakamlar temizlenmektedir.
- Veri setindeki metinler kelimelere ayrılarak kelime listesine dönüştürülmektedir.
- Etkisiz kelimeler veri setinden silinmektedir.
- Veri setinde kullanım sıklıklarına göre sıralanarak oluşturulan ve maksimum 5000 kelime dağarcığına sahip kelime listesine dönüştürülen metin geri çağırılmaktadır.

Bu adımlardan sonra veri setinin güncelleştirilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra veri seti test ve eğitim kümelerine ayrılmıştır. Bu çalışmada en iyi sonuçlar, yapılan denemeler sonucunda veri setinin %25'inin test, %75'inin eğitim için ayrılmasıyla elde edilmiştir.

Test ve eğitim kümeleri ayrımı yapıldıktan sonra sınıflandırma algoritmaları veri seti üzerinde uygulanmıştır.

### 3.4. Makine öğrenmesi

#### 3.4. Machine learning

Bu çalışmada kullanılan makine öğrenme algoritmalarının kısa açıklaması ve kullanım amaçları kısaca bu bölümde açıklanmıştır.

#### 3.4.1. Rastgele Orman algoritması

##### 3.4.1. Random Forest algorithm

Sınıflandırma algoritmaları içinde en fazla kullanılan algoritmadır. Bunun sebebi ise bu yöntem ile birçok sınıflandırma ağacı içerisinde rastgele seçilen bir altküme yardımıyla yeni topluluk oluşturulabilmesidir. RO algoritması kategorik, sürekli ve her iki yapıdaki veri setlerinde, ayrıca farklı büyüklükteki boyutlara sahip veri setlerinde uygulanabilmektedir. Bu gibi avantajlı yönlerinden dolayı siber zorbalık tespitlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun yanında bu yöntemin dezavantajı sınıflandırma ağaçları yönteminde olduğu gibi çıktı olarak bir ağaç oluşturulmamasıdır (Akman vd., 2011; Balakrishnan vd., 2020; Breiman, 2001).

#### 3.4.2. C- 4. 5 algoritması

##### 3.4.2. C- 4.5 algorithm

Bu algoritma yapılacak sınıflandırma için belirlenmiş eğitim verileri üzerinde oluşturduğu bir karar ağacı ile gelen girdi verilerinin hangi sınıflara ait olduğunu tahmin etmektedir. Bu yöntem karar

ağacını oluştururken verinin hangi sınıfa ait olduğuna dair tahmini sınıfa ait kazanımları yani o sınıfa ait ayırt edici özellikleri öncelik sırasına koyarak ağaç yapısını oluşturmaktadır. Bu algoritma, sınıflandırmada yapılacak ayırmanın ayırt edici özelliklere göre gerçekleştirilmesi, yapılacak tahminlerde kural çıkarımlarının yapılıyor olması ve kayıp veri yoğunluğu fazla olan veri setlerinde başarılı sonuçlar elde etmesi yönüyle siber zorbalık tespitlerinde kullanılmaktadır (Quinlan, 1996).

#### 3.4.1. Destek Vektör Makinesi

##### 3.4.1. Support Vector Machine

Bu algoritmanın temel prensibi, farklı iki sınıfa ait verileri doğrusal veya doğrusal olmayan şekilde birbirinden ayıracak sonsuz sayıda vektörler oluşturarak en uygun ayırımı gerçekleştirmektir. Bu yöntem çok büyük verilerde kullanılmakta ve hızlı sonuçlar elde edilmektedir. Yine verilerin ayrıştırılmasının doğrusal veya doğrusal olmayan şekillerde yapılabilmesi, yapılacak sonsuz ayrımlar içerisinde ise en iyisini seçebilmesi yönüyle siber zorbalık tespitinde en fazla kullanılan algoritmadır (Aydın, 2018).

#### 3.4.4. Naive Bayes

##### 3.4.4. Naive Bayes

Bu algoritma istatistik temeline sahip bir denetimli öğrenme algoritmasıdır (McCallum & Nigam, 1998). Kullanılacak metin tabanlı belgelerde sınıflandırma gerçekleştirilirken tüm eğitim veri kümesi üzerinde koşullu olasılıklar hesaplanarak gerçekleştirilmektedir. Bu algoritmanın en önemli avantajı uygulanmasının kolay olmasının yanında iyi sonuçlar elde edilebiliyor olmasıdır (Saravanaraj vd., 2016).

#### 3.4.5. Lojistik Regresyon

##### 3.4.5. Logistic Regression

Bu yöntem ile mevcut veriler dikkate alınarak oluşabilecek bir durumun olasılığı tahmin edilmektedir. Burada bir değişkenin bağımlılığının birden fazla olması durumunda elde edilecek sonuçlar 0 ve 1'e indirgenerek gösterilmektedir. Siber zorbalık tespitlerinde zorbalık kategorilerinin ayrımı veya ilişkilendirmelerin yapılması gereken sınıflandırmalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Ayo vd., 2020).

#### 3.4.6. Yapay Sinir Ağları

##### 3.4.6. Artificial neural networks

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin en temel özelliği olan öğrenme fonksiyonunu gerçekleştiren

bilgisayar sistemleri olarak tanımlanabilir. YSA, mevcut veri yapısının öğrenilmesi ve öğrenilen bu yapı üzerinden genellemeler yaparak sonuca ulaşmayı hedeflemektedir. Ağın ilgili olay örnekleriyle eğitilmesi sayesinde genellemeler gerçekleştirilmektedir. Bu yönüyle de benzer olaylar karşısında oluşabilecek durum verileri tespit edilmektedir. Tespit edilen sonucun, ağa gelecek yeni verilerin ağırlık değerleri ile çarpılıp toplanmasıyla yeni bir veri elde edilmektedir. Elde edilen bu yeni veri ise bir fonksiyon aracılığıyla işlenmekte ve bu işlenen veri de çıkış katmanından alınarak elde edilmektedir. En iyi çıkış verisinin elde edilebilmesi için söz konusu ağırlık değerlerinin sürekli güncellenmesi gerekir. Bu noktada ağın bir dezavantajıyla karşı karşıya gelmektedir. Bu dezavantaj, ağırlık değerlerinin kullanıcı tarafından anlamlandırılmasına kapalı olmasıdır. Yapay sinir ağı içindeki bilginin istenilen hedefe en yakın sonucu, kullanıcıların belirlemiş oldukları katman ve nöronlarda gizlidir. Temel olarak YSA deneyimler ve örneklemeler yaparak öğrenmeyi gerçekleştirir. Bu sayede girdiler arasındaki ilişkilerin tespitinin zor olduğu veya büyük veri kümelerinde doğrusal olmayan ilişkilerin modellenmesinde kullanılmaktadır. YSA, görüntü tanımlanması, doğal dil işleme, ses tanıma, büyük veri analizlerinde ve buna benzer birçok alanda kullanılmaktadır. Bu yönüyle siber zorbalık tespitinde de etkin olarak kullanılmaktadır (Atalay & Çelik, 2017).

### 3.4.7. SGD (Stochastic Gradient Descent)

#### 3.4.7. SGD (Stochastic Gradient Descent)

SGD algoritması, sınıflandırmalar yaparken kullanılan ağırlık değerlerinin değiştirilmesinde tüm eğitim verilerinin üzerinde işlem yapmak yerine sadece rastgele seçilen bir örnek dikkate alır. Sadece bir nokta dikkate alındığından bu algoritma ile daha hızlı sonuçlar elde edilmektedir. Bu yönüyle de metin tabanlı sınıflandırmalarda ve doğal dil işlemede büyük ölçekli ve seyreltilmiş veri setlerine uygulanmaktadır (Chandrashekar & Raghuvver, 2014).

### 3.4.8. K-En Yakın Komşu (KNN)

#### 3.4.8. K-Nearest Neighbor (KNN)

Bu algoritma sınıflandırmayı gerçekleştirirken, sınıflandırılacak yeni verinin, daha önce sınıflandırılmış  $k$  adet veriye olan uzaklıklarının hesaplanarak en yakın uzaklığa sahip olan sınıfa dahil edilmesi mantığına göre çalışmaktadır. Karşılaştırmada yeni verinin komşuluk mesafesinin hesaplanmasında genellikle Öklid

Bağıntısı kullanılmaktadır. Hesaplamalar sonucunda yapılacak tahminler belirlenirken komşu sınıfların örnek sayılarının çokluğu dikkate alınmaktadır. Bu yöntem, eğitim aşamasının olmayışı ve gürültü verilerine karşı dayanıklı olması nedeniyle siber zorbalık tespitinde tercih edilen bir sınıflandırma algoritmasıdır (Aydın, 2018).

### 3.4.9. K-Ortalama Kümeleme (K-Means)

#### 3.4.9. K-Means Clustering (K-Means)

Kümeleme algoritmalarının en eskisi olan bu algoritma veri madenciliğinde de en çok tercih edilen algoritmalarından biridir. İstatistiksel olarak benzer özelliğe sahip olan verilerin kümelenebilirliği gerçekleştirilmektedir. Kümeleme işlemleri gerçekleştirilirken bir veri sadece bir kümenin elemanı olacak şekilde ayrımlar yapılır. Algoritmadaki temel amaç, oluşturulacak “K” adet kümeden her kümenin birbirinden olabildiğince farklı olmasını sağlamak ve bu sayede her bir kümeyle ait verilerin birbirlerine yakın olmalarını sağlamaktır (Chandrashekar & Raghuvver, 2014).

### 3.4.10. Yükseltme

#### 3.4.10. Boosting

Bu yöntemdeki amaç, kullanılacak verilere farklı ağırlık değerleri uygulayarak elde edilecek ağaç yapılarından yeni çıkarımların gerçekleştirilmesidir. İlk etapta yapılan gözlemlerde her veri eşit ağırlık değerlerine sahiptir. Ağaç yapısı büyüdükçe belirlenen modele göre ağırlık değerleri verilmeye başlanır. Burada her yanlış sınıflandırılan verinin ağırlık değeri artırılır ancak nadiren ağırlık değerleri azaltılabilir. Doğru sınıflandırma gerçekleştirilinceye kadar farklı modeller geliştirilir ve son model ile kullanılan modellerin ağırlık ortalaması alınarak oluşturulur. Buradaki amaç ağaç yapısında oluşacak zor durumlarda ağacın kendi kendini düzenleyebilmesini sağlamaktır (Quinlan, 1996).

### 3.4.11. Torbalama

#### 3.4.11. Bagging

Bu yöntem sınıflandırma ve regresyon problemleri için kullanılan öğrenme tekniklerinin verimliliğini ve doğruluğunu arttırmak için tasarlanmış kolektif bir öğrenme modelidir. Torbalama yönteminde çoğunlukla karar ağaçları kullanılmaktadır. Bu yöntemde  $n$  adet veri içeren örneklemden boyutları  $n / k$  olan  $k$  tane yeni veri kümesi oluşturulur. Üretilen her bir veri kümesi için farklı öğrenme modelleri kullanılarak sınıflandırma işlemi

yapılmaktadır. Bu yöntemin avantajları varyansı azaltması ve aşırı uyumu engellemesidir (Sheikhi, 2020).

### 3.4.12. Gradyan Arttırma (GBM)

#### 3.4.12. Gradient Boost (GBM)

Bu algoritma bir topluluk algoritması olup regresyon ve sınıflandırma çözümlerinde kullanılmaktadır. Bu algoritmada güçlü bir öğrenme yetisini kazanmak amacıyla bazı zayıf öğrenimler birleştirilmektedir. Burada asıl öğrenmeyi gerçekleştiren regresyon ağaçları arasında her biri bir önceki ağaç tarafından hesaplanan hatalar üzerine kurulu bir dizi ağaç yapısından oluşmaktadır (Callens vd., 2020).

### 3.4.13. XGBoost

#### 3.4.13. XGBoost

Bu algoritma karar ağacı tabanlı olup, paralel veri işleme, ağaç yapısındaki gereksiz verileri atma, eksik olan verilerin işlenebilmesi ve aşırı sapmaların (overfitting) önlenmesine yönelik düzenlemelerle optimize edilmiş GBM algoritmasıdır. Algoritmanın sınıflandırmada kullanılmasının temel sebebi, yüksek tahmin gücüne sahip olması, aşırı öğrenimin önüne geçebilecek bir yapıya sahip olması, içeriği olmayan verilerin yönetimini yapabilmesi ve bu işlemleri çok hızlı bir şekilde gerçekleştirebilmesidir (Bardina vd., 2020).

## 3.5. Sınıflandırma algoritmalarının kodlanması

### 3.5. Coding of classification algorithms

Bu çalışmada literatürde sıklıkla kullanılan sınıflandırma algoritmalarından Bagging, Boosting, C4.5, Gradient Boosting, K-Means, KNN, LR, NB, YSA, RO, DVM, Stochastic Gradient Descent, XGBoost kullanılmıştır. Kodlama gerçekleştirilirken belirlenen modelin eğitilmesi ve performans değerlerinin test edilebilmesi için veri setinin bölünmesi gerekmektedir. Burada bu işlem için scikit-learn kütüphanesi kullanılmaktadır. Öte yandan veri seti içerisindeki benzersiz kelimelerin belirlenmesi ve özellik çıkarımının yapılması gerekmektedir. Bu da kullanılacak makine öğrenme algoritmalarının daha sağlıklı bir şekilde eğitilebilmesi amacıyla gereklidir. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmada Bag of Words (BOW) algoritması kullanılmaktadır. Bu algoritma veri setindeki cümleleri kelimelere ayırarak benzersiz

kelimelerden oluşan bir kelime dağarcığı vektörü oluşturmaktadır. Oluşturulacak kelime dağarcığı max\_features değerinin 5000 olarak girilmesiyle sınırlandırılmıştır. Bu sayede veri setindeki kelimelerin kullanım sıklıkları sıralamasına göre maksimum 5000 kelimedenden oluşan bir kelime dağarcığı elde edilmektedir. Buradaki amaç, veri setinin tamamında gezinebilmek ve bu sayede tüm kelimeleri, kelime haznesine katmaktır. Ayrıca veri setindeki cümleler, kelime dağarcığındaki kelimelerin sayısına bağlı olarak temsil edilebilir. Bu işlemler için de scikit-learn kütüphanesinin CountVectorizer nesnesi kullanılmaktadır. Elde edilen eğitim verileri ile model eğitilmekte ve sınıflandırma algoritmaları test edilmektedir.

## 4. Sonuçlar ve tartışma

### 4. Results and discussion

Bu çalışmada Türkçe bir hazır veri seti kullanılarak siber zorbalık tespiti problemi ele alınmıştır. Bu amaç doğrultusunda veri seti üzerinde doğal dil işleme yöntemleri kullanılarak veri ön işlemleri gerçekleştirilmiştir. Veri ön işlemlerinden sonra veri seti üzerinde çalıştırılan sınıflandırma algoritmalarının performansları incelendiğinde %88.35 başarı oranı ile LR sınıflandırma algoritmasının en yüksek başarı oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Burada LR algoritmasının çalışma yapısı ve kullanmış olduğumuz veri setinin de bu yapıya uygun iki sınıf değişkenine sahip olmasından ötürü en iyi sonucu elde ettiği düşünülmektedir. Bu çalışmada tüm sınıflandırma algoritmalarından elde edilen sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1'de yer alan Kesinlik (Precision) =  $TP / (TP + FP)$ , Hassasiyet (Recall) =  $TP / (TP + FN)$ , Doğruluk Accuracy =  $(TP + TN) / (TP + FP + TN + FN)$  ve F1 Puanı =  $F1\text{-score} = 2 * Precision * Recall / (Precision + Recall)$  denklemleri ile hesaplanmıştır. Denklemlerde geçen TP, Doğru Pozitif; TF, Doğru Negatif; FP, Yanlış Pozitif; FN, Yanlış Negatif taminleri ifade etmektedir. Burada Algoritmaların yapmış olduğu tahminlerde eğer siber zorbalık içeren bir kelime doğru tahmin edilmiş ise TP değeri 1 arttırılır, siber zorbalık içermeyen kelime doğru tahmin edilmiş ise TN değeri bir arttırılır, Eğer Siber zorbalık içeren kelime yanlış tahmin edilmiş ise FP değeri 1 arttırılır, siber zorbalık içermeyen kelime yanlış tahmin edilmiş ise FN değeri bir arttırılmakta ve söz konusu denklemler bu değerler üzerinden hesaplanmaktadır (Medium, 2020).

**Tablo 1.** Sınıflandırma algoritmalarının performans sonuçları  
*Table 1. Performance results of classification algorithms*

Algoritmalar	Doğru Pozitif Oranı	Yanlış Pozitif Oranı	Keskinlik (Precision)	Hassasiyet (Recall)	Doğruluk (Accuracy)	F1 Puanı
<b>Bagging</b>	0.7643	0.0808	0.9353	0.7643	0.8256	0.8412
<b>Boosting</b>	0.8293	0.0909	0.9164	0.8293	0.8655	0.8707
<b>C4.5</b>	0.8333	0.1274	0.876	0.8333	0.8522	0.8541
<b>GBM</b>	0.622	0.0761	0.9623	0.622	0.6953	0.7556
<b>KNN</b>	0.5896	0.0657	0.9757	0.5896	0.6525	0.735
<b>K-Means</b>	0.5023	0.4388	0.8841	0.5023	0.51	0.6406
<b>LR</b>	0.8775	0.1104	0.8893	0.8775	0.8835	0.8833
<b>NB</b>	0.872	0.3054	0.5876	0.872	0.7537	0.7021
<b>YSA</b>	0.8414	0.1142	0.8895	0.8414	0.8628	0.8654
<b>RO</b>	0.7986	0.0701	0.9407	0.7986	0.8535	0.8639
<b>SGD</b>	0.8545	0.1148	0.8868	0.8545	0.8695	0.8704
<b>DVM</b>	0.8029	0.2385	0.7383	0.8029	0.7804	0.7692
<b>XGBoost</b>	0.7016	0.1132	0.9191	0.7016	0.767	0.7958

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde birçok çalışmada kullanılan algoritmalar arasında DVM algoritmasının en iyi sonucu verdiği görülmüştür (Al-Mamun & Akhter, 2018; Duwairi vd., 2014; Hosseinmardi vd., 2015; Hussain vd., 2018; Shekhar & Mathangi, 2018; Venckauskas vd., 2017; Yazgılı & Baykara, 2021). Bu çalışmaların çoğunda İngilizce veri setleri kullanılmasının yanı sıra farklı dil yapılarında oluşturulmuş veya elde edilmiş veri setleri kullanılmıştır. Türkçenin morfolojik açıdan zengin bir dil olması ve eklemeli bir dil olması nedeniyle doğal dil işleme çalışmaları İngilizce gibi dillere oranla daha zordur. Bu alanda yapılan çalışmaların sayısının az olmasının bir sebebi de bundan kaynaklanmaktadır (Eryiğit ve Torunoğlu, 2017; Özer vd., 2018). Türkçe bir veri seti üzerinde gerçekleştirilen bu çalışmada ise Lojistik Regresyon sınıflandırma algoritmasının 13 algoritma içerisinde en yüksek başarıyı elde ettiği tespit edilmiştir. Bu çalışma esnasında farklı diller arasında sınıflandırma algoritmalarının performanslarını kıyaslamaktan ziyade literatürde Türkçe veri seti kullanılarak yapılan çalışmaların çok az olması nedeniyle gerçekleştirilmiştir (Bozyiğit vd., 2021; Bozyiğit vd., 2019; Yılmaz vd., 2021; Bozyiğit vd., 2019; Öztürk, E., 2019). Ancak yine de bu çalışma ile genel olarak yapılan farklı dillerdeki çalışmalar karşılaştırıldığı zaman siber zorbalık tespitinde kullanılan makine öğrenme algoritma performanslarının kullanılan veri setindeki dil yapısına bağlı olarak da farklı sonuçlar verebileceğini göstermektedir. Ayrıca yapılan literatür çalışmalarında daha önce bu kadar çok sayıda algoritma karşılaştırılmasının da yapılmadığı görülmüştür.

Gelecekte siber zorbalık tespitinde yapılan metin bazlı araştırmalarda daha sağlıklı ve güvenilir sonuçların elde edilmesine yönelik metinlerin anlamsal boyutlarının da dikkate alınarak değerlendirilebileceği derin öğrenme algoritmalarının sosyal ağlar üzerinde anlık siber zorbalık tespitine yönelik çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

#### Yazar katkısı

*Author contribution*

Yazarlar çalışmanın tüm aşamalarında ortak çalıştıklarını beyan etmektedirler.

#### Etik beyanı

*Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

#### Çıkar çatışması beyanı

*Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

#### Kaynaklar

*References*

Agrawal, S., & Awekar, A. (2018). Deep Learning for Detecting Cyberbullying Across Multiple Social Media Platforms. *Advances in Information Retrieval*, 141–153, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-76941-7\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-76941-7_11)

Akman, M., Genç, Y., & Ankaralı, H. (2011). Random forests yöntemi ve sağlık alanında bir uygulama,



*Türkiye Klinikleri Journal of Biostatistics*, 3 (1), 36-48.

- Al-Mamun, A., & Akhter, S. (2018). Social media bullying detection using machine learning on bangla text. *10th International Conference on Electrical and Computer Engineering*, 20-22, <https://doi.org/10.1109/icece.2018.8636797>
- Atalay, M., & Çelik, E. (2017). Büyük veri analizinde yapay zekâ ve makine öğrenmesi uygulamaları”, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 9(22), 155-172.
- Aydın, C. (2018). Makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak itfaiye istasyonu ihtiyacının sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 5(14), 169-175, <https://doi.org/10.31590/ejosat.458613>
- Ayo, F. E., Folorunso, O., Ibharaolu, F. T., & Osinuga, I. A. (2020). Machine learning techniques for hate speech classification of twitter data: State-of-the-art, future challenges and research directions. *Computer Science Review*, 38, 100311, <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100311>
- Barlet, C. P. (2019). Cyberbullying, traditional bullying, and aggression: a complicated relationship. *Predicting Cyberbullying Research, Theory, and Intervention*, 11-16, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816653-6.00002-9>
- Balakrishnan, V., Khan, S., Fernandez, T., & Arabnia, H. R. (2019). Cyberbullying detection on twitter using big five and dark triad features. *Personality and Individual Differences*, 141, 252-257, <https://doi.org/10.1016/j.paid.2019.01.024>
- Bozyiğit, A., Utku, S., & Nasibov, E. (2021). Cyberbullying detection: Utilizing social media features. *Expert Systems with Applications*, 179, 115001. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115001>
- Bozyigit, A., Utku, S., & Nasiboglu, E. (2019). Cyberbullying Detection by Using Artificial Neural Network Models. *2019 4th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, 520-524, <https://doi.org/10.1109/ubmk.2019.8907118>
- Balakrishnan, V., Khan, S., & Arabnia, H. R. (2020). Improving cyberbullying detection using twitter users' psychological features and machine learning. *Computers & Security*, 90, 101710, <https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101710>
- Bardina, M., Vaganov, D., & Guleva, V. (2020). Socio-demographic features meet interests: on subscription patterns and attention distribution in online social media. *Procedia Computer Science*, 178, 162-171, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.11.018>
- Breiman, L. (2021). Random Forests, machine learning. 45 (1), 5-32, <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324>
- Callens, A., Morichon, D., Abadie, S., Delpy, M., & Liquet, B. (2020). Using Random Forest and gradient boosting trees to improve wave forecast at a specific location. *Applied Ocean Research*, 104, 102333, <https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102339>
- Chandrashekhar, A. M., & Raghuvver, K. (2014). Amalgamation of K-means Clustering Algorithm with Standard MLP and SVM Based Neural Networks to Implement Network Intrusion Detection System. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2(28), 273-283, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-07350-7\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-319-07350-7_31)
- Dadvar, M., De Jong, F. M. G., Ordelman, R. J. F., & Trieschnigg, R. B. (2012). Improved cyberbullying detection using gender information. *In Proceedings of the Twelfth Dutch-Belgian Information Retrieval Workshop*, 23-25, [http://dir2012.intec.ugent.be/system/files/proceedings/DIR2012\\_04\\_Maral\\_Dadvar.pdf](http://dir2012.intec.ugent.be/system/files/proceedings/DIR2012_04_Maral_Dadvar.pdf)
- Duwairi, R. M., Marji, R., Sha'ban, N., & Rushaidat, S. (2014). Sentiment Analysis in Arabic tweets. *2014 5th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)*, <https://doi.org/10.1109/iacs.2014.6841964>
- Eryiğit, G., & Torunoğlu-Selamet, D. (2017). Social media text normalization for Turkish. *Natural Language Engineering*, 23(06), 835-875. <https://doi.org/10.1017/s1351324917000134>
- Fortunatus, M., Anthony, P., & Charters, S. (2020). Combining textual features to detect cyberbullying in social media posts. *Procedia Computer Science*, 176, 612-621, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.08.063>
- Hosseinmardi, H., Mattson, S. A., Ibn Rafiq, R., Han, R., Lv, Q., & Mishra, S. (2015). Detection of cyberbullying incidents on the instagram social network. *arXiv: 1503.03909v1 [cs.SI] 12 Mar 2015* <https://arxiv.org/abs/1503.03909>
- Hussain, M. G., Mahmud, T. A., & Akthar, W. (2018). An Approach to Detect Abusive Bangla Text. *2018 International Conference on Innovation in Engineering and Technology (ICIET)*, 27-29, <https://doi.org/10.1109/ciet.2018.8660863>
- Kepez, T. B. “Detection of Cyberbullying in Turkish”, Erişim adresi <https://www.kaggle.com/tbrknt/detection-of-cyberbullying-in-turkish>

- McCallum, A., & Nigam, K. (1998). A comparison of event models for naive bayes text classification. *in AAAI-98 workshop on learning for text categorization*, 752, 41-48.
- Modha, S., Majumder, P., Mandl, T., & Mandalia, C. (2020). Detecting and visualizing hate speech in social media: a cyber watchdog for surveillance. *Expert Systems with Applications*, 161, 113725, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113725>
- N-Garci'a, P. G., De La Puerta, J. G., Go'Mez, C. L., Santos, I., & Bringas, P. G. (2015). Supervised machine learning for the detection of troll profiles in twitter social network: application to a real case of cyberbullying. *Logic Journal of IGPL*, jzv048, 24(1), <https://doi.org/10.1093/jigpal/jzv048>
- Ozer, Z., Ozer, I., & Findik, O. (2018). Diacritic restoration of Turkish tweets with word2vec. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21(6), 1120-1127, <https://10.1016/j.jestch.2018.09.002>
- Öğündür, G. (2019, November 09). *Doğruluk (Accuracy), Kesinlik (Precision), Duyarlılık (Recall) ya da F1 Score?* <https://medium.com/@gulcanogundur/do%C4%9Fruluk-accuracy-kesinlik-precision-duyarl%C4%B1% C4%B1k-recall-ya-da-f1-score-300c925feb38>
- Öztürk, E. (2019). Cyberbullying detection using text classification for turkish language. [Yüksek lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı]
- Quinlan, J. R. (1996). Bagging, boosting, and c4.5. in *Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence*, 1, 725-730.
- Saravananaraj, A., Sheeba, J. I., & Pradeep Devaneyan, S. (2016). Automatic detection of cyberbullying from twitter", *IRACST - International Journal of Computer Science and Information Technology & Security (IJCSITS)*, ISSN: 2249-9555, 6(6), 26-31.
- Sheikhi, S. (2020). An efficient method for detection of fake accounts on the instagram platform. *International Information and Engineering Technology Association*, 429-436, <https://doi.org/10.18280/ria.340407>
- Shekhar, A., & Mathangi, V. (2018). A Bag-of-phonetic-codes model for cyber-bullying detection in twitter. *2018 International Conference on Current Trends towards Converging Technologies (ICCTCT)*, 1-7, <https://doi.org/10.1109/icctct.2018.8550938>.
- Song, T.-M., & Song, J. (2021). Prediction of risk factors of cyberbullying-related words in Korea: Application of data mining using social big data. *Telematics and Informatics*, 58, 101524, <https://doi.org/10.1016/j.tele.2020.101524>
- Squicciarini, A., Rajtmajer, S., Liu, Y., & Griffin, C. (2015). Identification and characterization of cyberbullying dynamics in an online social network. *2015 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, ASONAM '15*, 280-285, <http://dx.doi.org/10.1145/2808797.2809398>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2020). *Hanehalkı Bilişim Teknolojileri (BT) Kullanım Araştırması*, 2020. Erişim adresi [https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hanehalki-Bilisim-Teknolojileri-\(BT\)-Kullanim-Arastirmasi-2020-33679](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hanehalki-Bilisim-Teknolojileri-(BT)-Kullanim-Arastirmasi-2020-33679)
- Venckauskas, A., Karpavicius, A., Damaševičius, R., Marcinkevičius, R., Kapočiuėte-Dzikiėnė, J., & Napoli, C. (2017). Open class authorship attribution of lithuanian internet comments using one-class classifier. *2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 11, 373-382, <https://doi.org/10.15439/2017f461>.
- Yazgılı, E., & Baykara, M. (2021). Siber Zorbalık Tespit Yöntemleri Potansiyel Uygulama Alanları ve Zorluklar. *DÜMF Mühendislik Dergisi Sayı 12(1)*, 23-35, <https://10.24012/dumf.859651>
- Yılmaz, Ş. Ş., Özer, İ., & Gökçen. H. (2021). Türkçe Metinlerde Derin Öğrenme Yöntemleri Kullanılarak Duygu Analizi, *International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies*. 22, 971-982.
- Zois, D. S., Kapodistria, A., Yao, M., & Chelms, C. (2018). Optimal online cyberbullying detection. *2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2017-2021, <https://doi.org/10.1109/icassp.2018.8462092>.

## Manufacturing and controlling 5-axis ball screw driven industrial robot moving through G codes

*G kodu ile hareket eden beş eksenli bilyalı mil tahrikli endüstriyel robot imalatı ve kontrolü*

Savaş KOÇ<sup>\*1,a</sup>, Cengiz DOĞAN<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Savaş KOÇ, Batman University, Mechanical Engineering, Batman/Turkey

<sup>2</sup>Cengiz DOĞAN, Harran University, Mechanical Engineering, Şanlıurfa/Turkey

• Geliş tarihi / Received: 02.09.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 26.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 01.02.2022

### Abstract

These days, in industrial robot applications, servo motors with reducer have been used to move robot manipulators. Due to the weight of the robot parts, it causes undesirable conditions such as backward movement, downward movement and vibration caused by the moments of inertia at the time of movement. In this study, step motor ball screw driven actuators, which use push-pull force instead of servo motor with reducers, were utilized to provide rotational movement in robot arms. The ball screw system reduces the effect of moments of inertia caused by the movements of the robot joints, and restricts the free movements of the robot joints. It also provides an advantage by reducing costs since it uses smaller motors. In articulated robots, the complexity of kinematic equations and the use of high-order polynomials for trajectory planning cause difficulties in controlling. In this study, the information of the points, where the robot went during the manual movement, was obtained by using the macros prepared in program interface without using kinematic and trajectory planning equations. The position lines taken at these points were printed in a text file by adding the code G01 and f feed-rate. The robot was made to move by running this file in the program interface used for control. This method allows the operator to use the robot without advanced kinematics knowledge.

**Keywords:** Actuators, Ball screw, Control with G code, Industrial robot

### Öz

Günümüz endüstriyel robot uygulamalarında robot manipulatorlerini hareket ettirmek için redüktörlü servo motorlar kullanılmaktadır. Robot parçalarının ağırlıklarından dolayı, hareket anında atalet momentlerinden kaynaklanan geriye doğru hareket, aşağı doğru hareket ve titreşim gibi istenmeyen durumlara neden olmaktadır. Bu çalışmada, robot kollarında dönme hareketini sağlamak için redüktörlü servo motor yerine itme-çekme kuvveti kullanan adım motorlu bilyalı mil tahrikli aktüatörler kullanılmıştır. Bilyalı mil sistemi, robot mafsallarının hareketlerinden kaynaklanan atalet momentlerinin etkisini azaltmakta ve robot mafsallarının serbest hareketlerini kısıtlamaktadır. Ayrıca daha küçük motorların kullanılmasıyla maliyetleri azaltarak avantaj sağlamaktadır. Mafsallı robotlarda, kinematik denklemlerin karmaşık olması ve yörünge planlaması için yüksek dereceli polinomların kullanılması kontrolde zorluklara neden olmaktadır. Bu çalışmada, kinematik denklemler ve yörünge planlaması denklemleri kullanılmadan program arayüzünde hazırlanan makrolar kullanılarak robotun manuel hareketi esnasında gittiği noktaların eksen bilgisi alınmaktadır. Bu noktalarda alınan konum satırlarına, G01 kodu ve f ilerleme hızı eklenerek bir metin dosyasına yazdırılmaktadır. Bu dosya kontrol için kullanılan program arayüzünde çalıştırılarak robot hareket ettirilmektedir. Bu yöntem, operatörün ileri derecede kinematik bilgisi olmadan da robotu kullanma imkanı sunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Aktüatörler, Bilyalı mil, G kodu ile kontrol, Endüstriyel robot

\*a Savaş KOÇ; savas.koc@batman.edu.tr, Tel: (0553) 696 05 72, orcid.org/0000-0002-5257-3287

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-1468 8462

## 1. Instruction

### 1. Giriş

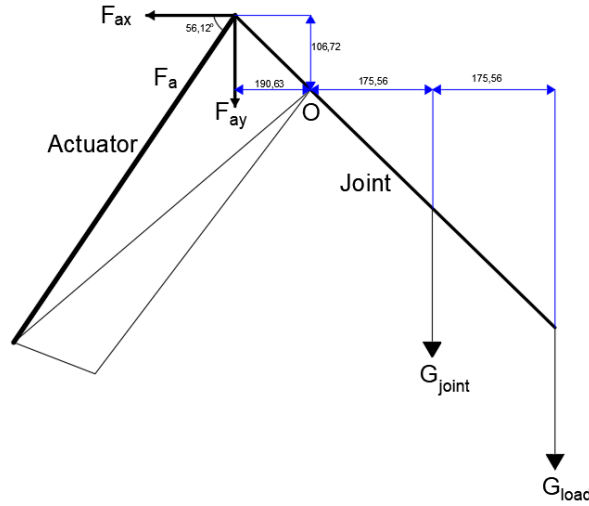
Many countries are in a high competition to renew their production chains in order to produce environmentally friendly and energy-efficient products. (Pham & Ahn, 2018). The demand for flexible automation systems in manufacturing and assembling materials used to produce parts for different applications has increased (Sugavaneswaran et al., 2020). At present, industrial robots are widely used in manufacturing industry in order to reduce labor costs. (Raza et al., 2018). Industrial robots are increasingly being used in assembly, automotive, and aerospace industries to produce light and large parts such as frames made of aluminum, fiber-reinforced or composite materials (Denkena et al., 2017). With the increase in positioning accuracy of robots in working conditions, most of the motor energy is used for the weight parts. With the change of materials and geometric shapes, a 10% reduction in loads has been achieved (Buğday & Karali, 2019). Cost expenses decreased by using industrial robot and together with PLC in industrial automation systems in a factory where ball valve with side union was produced. By means of this system, a flexible production has been achieved (Enes et al., 2021). Industrial robot manipulators are widely used in many different fields and different applications in the industry. It is preferred to ensure the safety of life in applications that may endanger time, effort, and human life (Sahu et al., 2017). Electric actuators are used in the driven robot manipulators because of their high precision. The biggest advantage of electric actuators is that they lift more weight with low power (Gaspar-Badillo et al., 2017). A robust end-effector design for a robot is crucial for the performance of the robot work cell. The use of robots in automation systems, together with the design of the fingers and jaws of industrial grippers, have attracted great attention (Honarpardaz et al., 2017). Although an industrial robot consists of kinematic structure and mechanical parts such as a reducer and many important components such as servo motor, drive, sensors, and controller; the use of precision gearboxes makes up about 25% of the material cost (Pham & Ahn, 2018).

The robotic system includes a specially designed end effector, RGB-D camera and high-quality computer with a graphic processing unit, programmable logic controllers, other electronic equipment and a six-degree freedom industrial arm (Arad et al., 2020). An industrial robot with six-degree freedom industrial arm was designed and

assembled. All joints of the robot are made of rotary joints; and a servo-controlled AC motor is placed on each axis (Eren & Kaftanoğlu, 2001). In the control system of six axes industrial robot, real-time and fast communication solutions are required to increase the kinematic accuracy of the end effector (Bu-Hai et al., 2017). Some tests were developed with a Texas DSP Delfino C2000 that focused on designing a pneumatic robot with a total of 4-degree freedom with a hardware interface to control pneumatic actuators (Gaspar-Badillo et al., 2017). It presents the design of a Double Arm System consisting of a humanoid robot arm, which is used as two high-performance KITS. Utilizing human arm kinematics, each arm can have 8 degrees of freedom together with one joint of the inner shoulder. Compared to robots with 7 degrees of freedom, it provides a greater working area and dexterity when used with the inner shoulder joint (Rader et al., 2016). While robotic harvesting often remains a problem in an unstructured and complex environment, a new barrier separation algorithm is developed to enable a harvesting system to pick strawberries from clusters. The algorithm pushes the strawberry leaves, strawberries and other obstacles surrounding its gripper arms aside. Thus, a theoretical method is proposed to create thrust paths based on the obstacles in the environment (Xiong et al., 2020). There are applications in both industry and healthcare, which requires higher accuracy combined with high compatibility. A self-adapting 6-degree freedom parallel robot is proposed as it is difficult to achieve conflicting accuracy and harmony at the same time (Jamwal et al., 2020). A double-arm robot manipulator, consisting of two industrial arms with 6-degree freedom and a body with 2-degree freedom, is designed. This double-arm robot manipulator is designed as a 6-axis industrial arm to use in the assembly of automotive parts. It can be also used as a stand-alone 6-axis industrial robot manipulator and as part of a double-arm manipulator (Park & Park, 2018). While the eco-design of robots was rarely searched in the past, bio-sourced materials such as wood could be used instead of metal or carbon composite parts to reduce the environmental impact of the robot significantly during the design stage. Wood has interesting mechanical properties, but its performance changes according to dimensions, atmospheric conditions, external factors and conditions in which the trees grow (Kaci et al., 2019). With the developing technology in the field of industrial robots, progress has been made in the field of robot-human cooperation. By using the control system with sensors and drives, robots act in active and passive cooperation with humans (Dilibal & Şahin, 2018).

As shown in Figure 1, at O point on the 3<sup>rd</sup> axis, the actuator performs rotation by pushing or pulling the arm. This arm continues to work by performing a rotational movement in two different ways. The motor, connected to O point, performs movement by rotating the direct arm or by push-pull force of the actuator connected to the end of the arm. In both cases, a comparison was made based on the torques

falling on the motors; and their advantages were tried to be determined. In order to calculate the torque on the motor directly connected to O point, the weight of the bar is to be 2.5 kg, and the weight of the load and gripper connected to the end of the arm is accepted as 25 kg. To find the torque of the motor, the moment at point O is taken as;



**Figure 1.** Torque calculation on the robot axis  
**Şekil 1.** Robot ekseninde tork hesabı

$$T_{\text{motor}}=2.5*9.81*0.17556+25*9.81*0.35111=90.415 \text{ Nm} \quad (1)$$

In the same way, to calculate the force drawn by the actuator and how much torque this force creates on the motor over the ball screw, a moment is taken at O point as (see Equation 2-5):

$$F_{ax}*0.10672+F_{ay}*0.10963=2.5*0.17556*9.81+25*0.35111*9.81 \quad (2)$$

$$F_a*(\cos 56.12)*0.10672+F_a*(\sin 56.12)*0.10963=90.415 \quad (3)$$

$$F_a*0.1505=90.415 \quad (4)$$

$$F_a=600.74 \text{ N} \quad (5)$$

After calculating the force drawn by the actuator in this way when the pitch of the shaft used in the actuator is 5 mm and the diameter is 16 mm, the torque falling to the motor is (Equation 6-7):

$$F_t=0.005*600.74/(\pi*0.016)=59.71 \text{ N} \quad (6)$$

$$M_{\text{motor}}=59.71*0.016/2=0.477 \text{ Nm} \quad (7)$$

According to these two calculations, the use of smaller powerful motors in the actuator provides a great advantage in terms of both weight and cost.

The aim of this study is to reduce the cost and the weight of the robot by using smaller powerful stepper motors. In addition, complex equations are employed in the kinematic calculations and the trajectory planning of the industrial robots used in

rotary joints. These equations make the control of the robot difficult. The robot is moved manually without using these equations. With the help of macros written in Mach3 interface, G codes of the points along the trajectory are written and recorded. These codes are uploaded to the robot system, and the system is required to repeat the same work. Thus, the operator, who does not have advanced robot kinematics knowledge, will be able to use the

robot by eliminating the difficulties brought by complex equations.

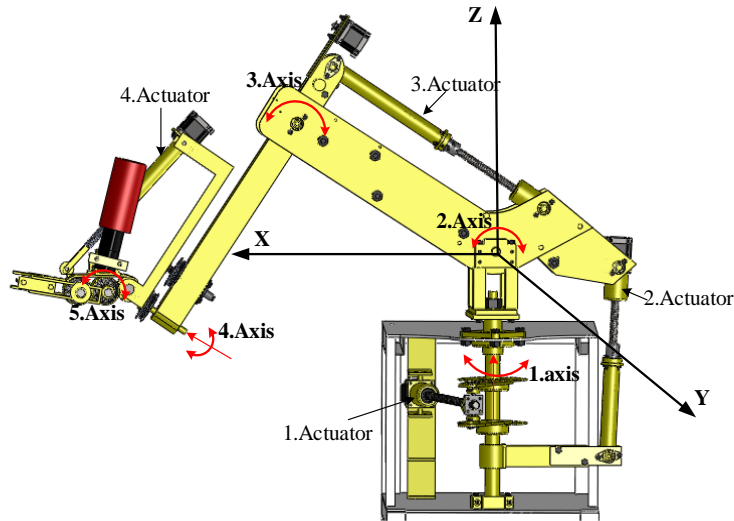
## 2. Material and method

### 2.1. Materyal ve metot

Precision planetary gear systems, which are generally composed of gears with sensitive involute profiles and provide a speed reduction of around 1/20, are used in articulated robot arms. Since the assembly and manufacturing of precision gears used in the planetary gear systems require using high technology, large amounts of money are spent to procure these systems from abroad (Li et al., 2020; Guanjin & Wenyi, 2018). Therefore, instead of the planetary gear systems, stepper motor driven ball screw actuators are used in the industrial robots. The design of this robot resembles an articulated industrial robot that works like an excavator type construction equipment. Thus, step motors with smaller torque capacities

are employed instead of large-torque servo motors used in the planetary gear systems.

The general view of the robot with five-axis and step motor driven designed and manufactured in this study is shown in Figure 2. The body and arm joints of the robot rotating in the vertical axis are rotated in a horizontal axis parallel to each other. The gripper unit at the tip of the robot arm is rotated in two vertical axes for any position in the working space. The rotational movements of the robot joints are similar to that of hydraulic actuator used in an excavator. As a result of the choice of the ball screws actuator system, an alternative solution is brought to the problems of the difficulty of controlling the step and servo motors used in robots at low speed and high torque and the expensive supply of precision gearboxes. As the ball screws are rotated by step or servo motors in a position-controlled manner, the robot is operated by the actuators moved forward-backward linearly.



**Figure 2.** View of five-axis robot.

**Şekil 2.** 5-axis robot görünümü

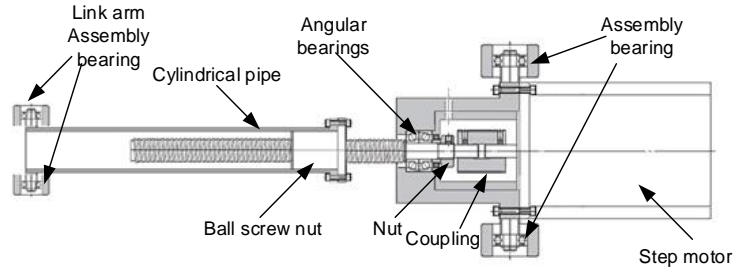
### 2.1. Design of actuators

#### 2.1.1. Aktüatör tasarımı

Ball screw actuators are mainly used in many applications such as precise engineering and aerospace applications (Okwudire, 2011). Ball screw actuators, which are compact, stiff and precise, are used in applications of miniature robotics (Garinei & Marsili, 2012). On one end of the actuators, there is a ball screw rotated by the stepper or servo motor and a ball screw nut at the

other end. When the motor is rotated clockwise, the length of the actuator increases; and when it is rotated in the opposite direction, it decreases.

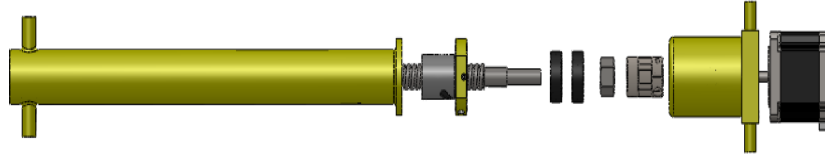
The sectional view of a designed and manufactured step motor-driven ball screws actuator is shown in Figure 3. Pairs of angular bearings are mounted back-to-back on the ball screws in the motor flange. The motor movement is transferred to the ball screws by a coupling mounted between the motor shaft and the ball screws.



**Figure 3.** Actuator design and internal section view  
**Şekil 3.** Aktüatör tasarımı ve iç kesit görünümü

On the other side of the actuator, there is a pipe piece with connecting pins at one end and a ball screw nut on the other end. The actuator is mounted with two pins at the end of the pipe and the flange motor as shown in Figure 4. When the motor is rotated in the clockwise direction, the length of the actuator increases and when it is rotated

counterclockwise direction, the length of the actuator shortens. As the actuators used in robots are long and the ball screws diameter is small (16 mm), they are operated under tensile load due to the risk of buckling. It is aimed to reduce the starting torque of the motor by selecting small pitch ball screws in actuators (5 mm).



**Figure 4.** Disassembled view of ball screw shaft actuator  
**Şekil 4.** Bilyali mil aktüatörün demonte görünümü

In the gear systems used in robots, it is difficult to control the servo motor as it requires large torque at controlled rotation speeds for the motor during load lifting. In this study, ball screws systems are preferred in the driven robot because of the economic difficulties in procuring 1/50 precision gearbox and the difficulty of controlling servomotors at low speed and high torque. As a result of rotating the ball screws by a servo or step motor operated by a computer, the ball screw nut is moved forward-backward linearly, allowing the robot to operate.

## 2.2. Robot design and manufacture

### 2.2. Robot tasarım ve imalatı

To rotate the robot body in the vertical (1<sup>st</sup> axis) axis, as shown in Figure 5, a shaft with a flange at its upper end is mounted with two bearings on the table. When the robot is rotated in the vertical axis, a step motor driven ball screw actuator is used to

enable the robot to turn 140 degrees on its 1<sup>st</sup> axis. The robot body (2<sup>nd</sup> axis) is made of two sheet plates by placing pieces of pipe between them and being fastened with bolts. A shaft located at the bottom of the robot body and the upper flange of the vertical axis shaft is mounted with bearings, and thus rotation of the robot body is realized. An actuator is placed between the lower end of the body and the connecting arm fixed to the vertical shaft; as a result, the robot body is rotated 100 degrees in the horizontal plane.

The robot arm (3<sup>rd</sup> axis) consists of a sheet metal profile placed between the robot body and the gripper. The bottom end of the robot arm is mounted on the upper end of the robot body with a shaft and two bearings. A ball screw actuator is mounted between the upper end of the robot arm and the robot body; as a result, the robot arm is provided to rotate 120 degrees.



**Figure 5.** Assembly of robot body  
**Şekil 5.** Robot gövde montajı

### 2.3. Robot gripper design and manufacture

#### 2.3. Robot tutucu tasarım ve imalatı

A human hand, one of the most complex organs of the human body, is the inspiration for robotic grippers. The human hand performing functions such as loosening and feeling in addition to its excellent gripping and tightening function is a very good example in the design of robot manipulators (Karaçizmeli et al., 2014; Bray et al., 2005). As shown in Figure 6, to hold cylindrical, spherical and rectangular prism-shaped pieces, two holding arms with V channels that open and close symmetrically are placed on the gripper. The gripper arms are opened and closed symmetrically with two right trapezoidal screws and their nuts on one side and two left trapezoidal screws and their nuts on the other side. The screws, embedded in the gripper body from the middle part, approach each other when they are turned clockwise and are moved away when they are turned counterclockwise. The screws used to open and close the gripper arms are rotated with a chain and gear system.

A right-angle electric motor with a reducer is used to open and close the gripper arms. The motor is mounted vertically on the gripper's body. The screws are driven by a chain gear attached to the motor shaft. By this way, cylindrical or spherical parts are held symmetrically between the gripper arms. It is mounted at the end of the robot arm using pins and bearings to rotate the gripper unit. A timing belt pulley system driven by a stepper motor placed at the upper end of the robot arm is used to rotate the gripper. The shafts carrying the timing pulleys with 10 and 40 gears are mounted on the

robot arm using bearings to increase the step motor torque (Koç & Doğan, 2020).



**Figure 6.** Mounting gripper on robot body  
**Şekil 6.** Robot gövdesi üzerinde tutucu montajı

### 2.4. Five-axis robot's motion system

#### 2.4. 5-eksen robot hareket sistemi

Mach3 is a very flexible program designed to control machines such as milling machines, plasma cutters and routers. Most connections between machine and the PC running Mach3 are made through the parallel port and usb in the computer (Wai & Aung, 2019). Mach3 motion control card is used in this study. There are 6 motor output ports, input ports for controlling sensors and output ports for controlling relays on this card.

6 axes are controlled with X, Y, Z, A, B, and C axis in Mach3 control card program. As shown in



Figure 7, the 1<sup>st</sup> axis Y, the 2<sup>nd</sup> axis Z, 3<sup>rd</sup> axis X, the horizontal movement of the gripper (5<sup>th</sup> axis) A and vertical movement of the gripper (4<sup>th</sup> axis) is driven by B. The Mach3 control card is programmed by entering codes and pin numbers in the card menu. In Mach3 program, the motor output ports, the motor direction and pin numbers

(Step and Dir) of the step motor are determined for each axis according to the motion of the robot. The PINs of the switches that are used to limit the movement of the axes are selected and the pins used clockwise (++) and counterclockwise (--) for each axis are activated. Motor output pins on the control card are activated to run the motors.



**Figure 7.** Introducing the axes  
**Şekil 7.** Eksenlerin tanıtılması

For the advancement of the actuator control, each axis should be equal to the axis progress in the program. When the number of steps of the motors used in this study is 200, the micro-step value is 1/8 and the pitch of the shaft is 5 mm, and the number of steps in a revolution (steps per setting) is calculated as 320. Similarly, for the speed and tour settings of the timing belt used in B axis, the rotation angle of the gripper is taken as 360 degrees, the number of steps of the motor as 200, the micro-stage setting as 1/8 and the pulley ratio as 1/16. The number of steps per revolution is also calculated as 142.22. The number of steps, acceleration and speed value of the motor for one revolution is determined in each axis for tuning settings. For the actuator used in the robot, according to the feature of the Mach3 control card, the highest speed values are selected as 0 - 3000 for feed rate and 200 for acceleration.

### 3. Results

#### 3. Bulgular

Motion trajectory of five-axis articulated type robot is recorded in a program file in the online programming system, widely used in robots; and the same operations are automatically performed by the robot (Biggs & MacDonald, 2003; Khort et al., 2013; Rossano et al., 2013). In this study, the

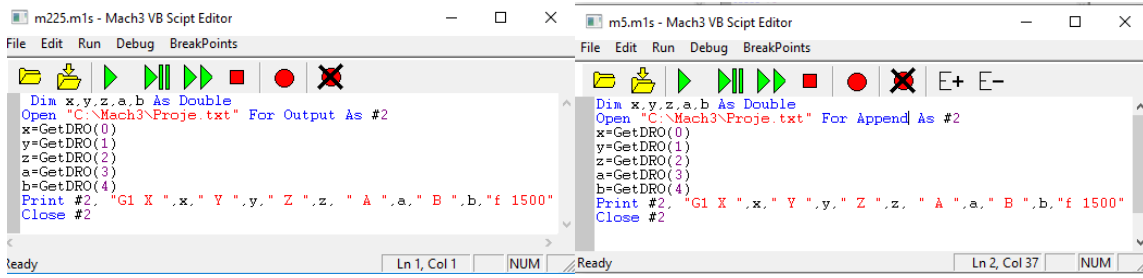
online programming system is used for controlling the robot. The method used to control the robot predetermines the points that the robot arm is gone. The G codes of each point are created and written in the program file. G codes are written in a text file opened in Mach3 program, and this file is run by pressing the start command. In order that a new G code can be written in the file, the old G codes in the file must be deleted. New G codes are written after the G codes in the file are deleted. These operations can also be performed without using the keyboard and computer screen. For this, the axes of robot are moved using joystick by the operator and G codes of points in the movement trajectory are written in the text file using macros of Mach3. G codes in the file are loaded into the load G-Code of the Mach3 program by the macros and the robot is moved in the recorded trajectory. Thanks to this feature, programming of the motion trajectory for the operation of the robot is performed online by the operator in a short time. The same process is performed for a long time by an experienced operator, according to the characteristics of the program and the motion trajectory by entering the normal data. This online programming system is added to the competitive power of the robot as it can easily be implemented by classical operators.

### 3.1. Macros used in robot control

#### 3.1.1. Robot kontrolünde kullanılan makrolar

Macros in Mach3 program folder are created using VB Script Editor window under the operator menu. The commands of the operations to be carried out are written in the window that is opened and whose macro names are created with numbers starting with m. These macros are run by clicking on run in the program interface, pressing F5 key or by typing the macro name on the command line, and the lines in the program written in the macro are sequentially executed.

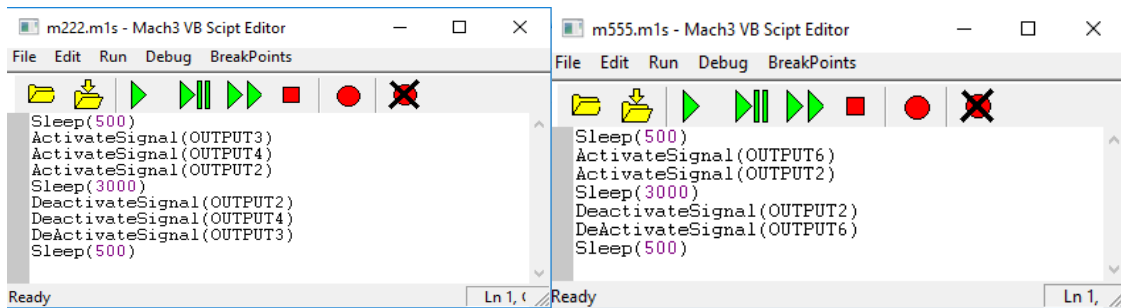
The m225 macro shown in Figure 8 prints the axis values onto the text file. In Mach3 program, 0 is used for X-axis, 1 for Y-axis, 2 for Z-axis, 3 for A-axis, 4 for B-axis, and 5 for C-axis. GetDRO command is used to get the last active axis values and define them to the variable. These axis values are printed in the text file in order. To be able to use in Mach3 program, G1 linear motion code is used at the beginning of the line and the feed rate is printed as f. If additional G-coded lines are to be printed in the same text file, m5 macro is used.



**Figure 8.** m225 and m5 macros  
**Şekil 8.** m225 ve m5 makroları

When the robot is in the position of holding the piece, m222 macro shown in Figure 9 is used to close the gripper arms. With the closing of the gripper arms, the switch behind the pressure spring cuts the energy of the motor. Since energy is supplied to the motor both during the closing and opening of the gripper arms, the energy in the opening direction is cut off. When the contactor that is used in the closing direction of the gripper arms is energized, the motor is rotated to close the

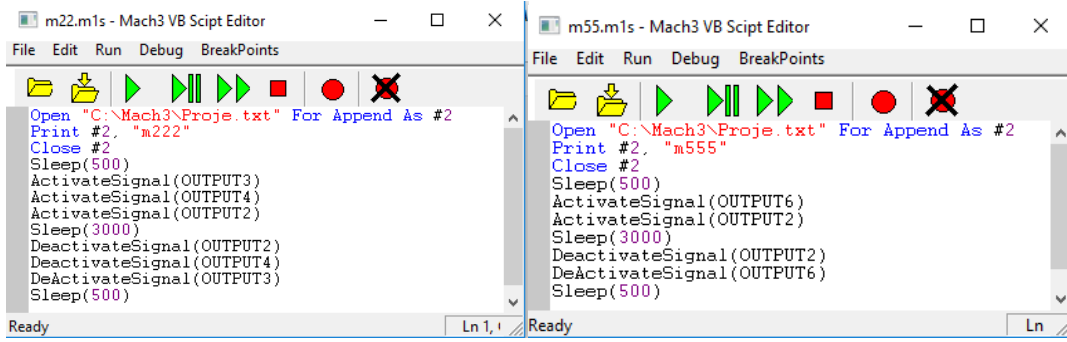
gripper arms. The time required for the gripper arms to grip the piece is calculated as 3 seconds. The motor is de-energized after three seconds. The m555 macro is used for the gripper arms to release the part. The relay is de-energized and the gripper arms are opened. At the end of three seconds, the motor is de-energized and the robot continues to operate. Thus, the robot leaves the piece and continues its movement in the determined trajectory.



**Figure 9.** m222 and m555 macros  
**Şekil 9.** m222 ve m555 makroları

The m22 macro shown in Figure 10 is used to close the gripper arms and to write m222 macro onto the text file. After determining the point of the piece and the gripper arms are closed. The m55 macro is

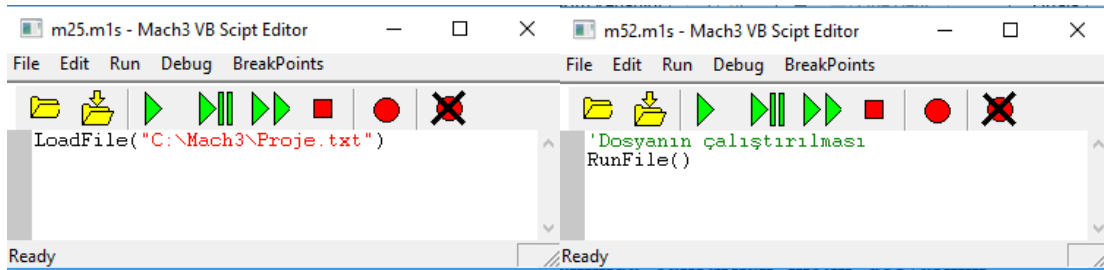
used to write the m555 code in the text file and to open the gripper arms by the motor when the robot comes to the point where it releases the piece.



**Figure 10.** m22 and m55 macros  
*Şekil 10. m22 ve m55 makroları*

Loading the text file into the program can be done by clicking the load G-Code tab in Mach3 Program window. In addition, as shown in Figure 11, it can

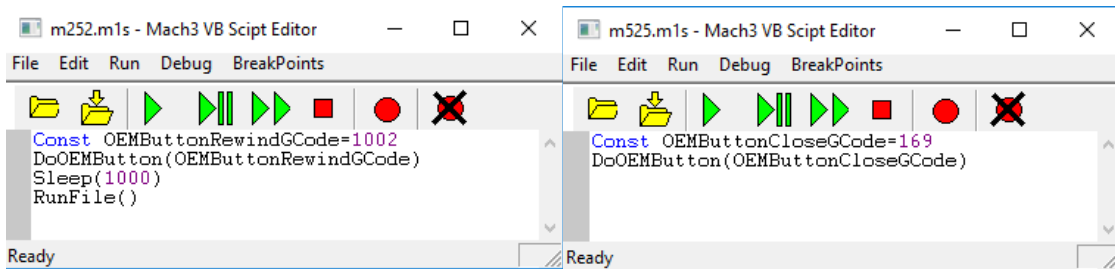
be done by using m25 macro. The m52 macro is used to run the file in Mach3 program.



**Figure 11.** m25 and m52 macros  
*Şekil 11. m25 ve m52 makroları*

When you want to run the same process again, m252 macro shown in Figure 12 is used. The m525 macro removes the file from the program so that it

can be rewritten into the text file run in Mach3 program.



**Figure 12.** m252 and m525 macros  
*Şekil 12. m252 ve m525 makroları*

### 3.2. Writing macros with PLC without keyboard

#### 3.2. klavyesiz PLC ile makroların yazılması

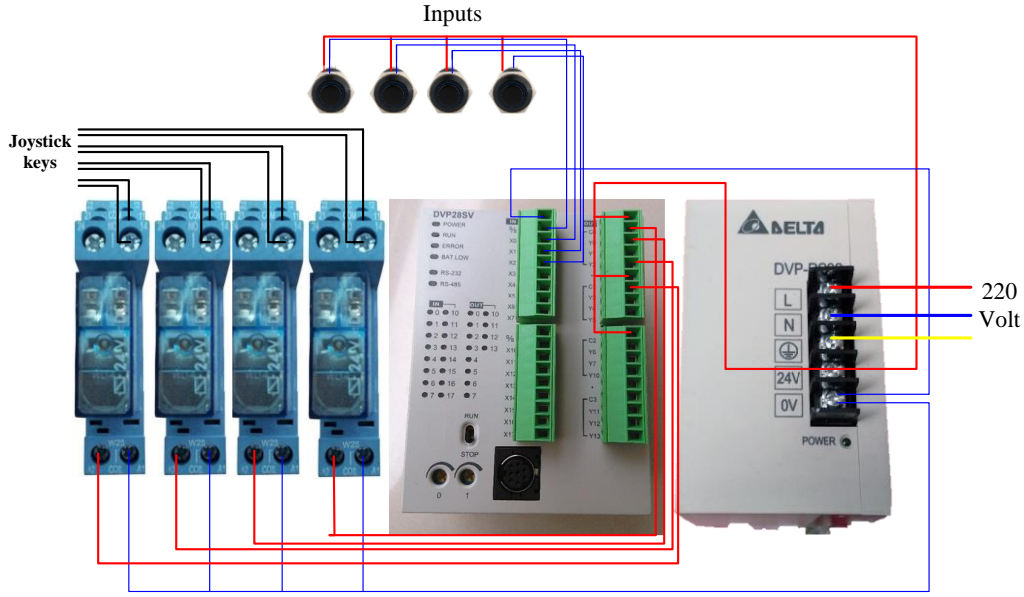
As shown in Figure 13, PLC and four 24 V DC relays are used to write macro names on the command line on Mach3 screen without using a keyboard. Enter, m, 2, and 5 keys used on the keyboard are employed in writing the name of the macro on the command line and running it. 4 relays

used in the system are connected to the joystick as enter, m, 2, and 5 keys.

To run the macro by printing on the screen, respectively, enter, m, numbers used in the macro name, enter and enter keys are short-circuited. On PLC device, Y0 is used for the enter key, Y1 for m key, Y2 for 2 key, and Y3 for 5 key. The time relay used in PLC programming is set to 200 ms for a single click in the keyboard integration. For short circuit, the relay that Y output that is connected is

activated with the set command; and after 200 ms Y output is deactivated with the reset command. The keys used as inputs of PLC and the macro

names used as the output of PLC are defined as shown in Table 1.



**Figure 13.** Writing macros on the screen with PLC and relay.  
**Şekil 13.** PLC ve role ile makroların ekrana yazdırılması

**Table 1.** Usage of macros and keys in PLC  
**Tablo 1.** PLC’de makro ve anahtarların kullanımı

Inputs and Outputs	Assigned Keys and Macros
Y0	Enter
Y1	m
Y2	2
Y3	5
X0	m225
X1	m5
X2	m22
X3	m55
X4	m25
X5	m52
X6	m252
X7	m522

#### 4. Discussion and conclusions

##### 4. Tartışma ve sonuçlar

When robot designs are examined, it is seen that servomotors and reducers are used in robot driven systems, which provide the movement for the arms. In this study, instead of geared servomotors, an actuator working with a ball shaft, which provides movement with push-pull force, is used. Considering the designs working with linear motion system, it is revealed that one of the most important advantages of ball screws is that they use

less power while converting rotational force to linear force under less frictional medium. When the torque is applied to the rotation point to ensure the movement of the joint forming the 3<sup>rd</sup> axis, the torque falling on the motor is 90.415 Nm. When the actuator is placed at the same turning point in such a way that it creates torque with the effect of force, the torque falling on the motor that rotates the actuator is calculated as 0.455 Nm. When these values are compared, it is found out that the use of the actuator moving with a ball screw provides a great advantage. The motor used in each axis also carries the weight of the motors used in the next axis. Therefore, by reducing the weight of the motors used in the arms, it reduces the load of the motor used in the next axis. Thus, with the motor carrying more load, the effects caused by the weight of the arms are reduced and the cost of the robot arm is also reduced by using a stepper motor instead of a servomotor. In addition, since the actuator is mounted at the end of the joint, the free movements of the joints are restricted. However, when the robot movement is performed with a ball shaft, it is insufficient to provide movement at the desired speed; and the working speed decreases compared to other robots. Articulated robots have difficulties such as the complexity of the kinematic equations and the creation and supply of software required for controlling the robot. The extraction of these equations, the trajectory planning needed for motion and the determination of robot positions

using kinematic calculations also require advanced engineering knowledge. In this study, without using equations for kinematic calculations and polynomials for trajectory planning, the axis values of these points are saved to the file by moving the working robot manually to all the points it needs to go. G1 linear progress code and f feed rate are added to the axis values of these points and written onto the file. After the axis values of all points are printed, the file is loaded into the interface of Mach3 program and repeated the work done when it is run. Thus, the robot can be operated by operators who do not have advanced kinematics knowledge.

### Acknowledgement

*Teşekkür*

I would like to thank Harran University Scientific Research Coordinator (HÜBAK) for providing support for the project in production of this robot.

### Author contribution

*Yazar katkısı*

All authors contributed to the manuscript equally.

### Declaration of ethical code

*Etik beyanı*

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

### Conflicts of interest

*Çıkar çatışması beyanı*

The authors declare that there is no conflict of interest.

### References

*Kaynaklar*

- Arad, B., Balendonck, J., Barth, R., Ben-Shahar, O., Edan, Y., Hellström, T., & Van Tuijl, B. (2020). Development of a sweet pepper harvesting robot. *Journal of Field robotics*, 37(6), 1027-1039. <https://doi.org/10.1002/rob.21937>
- Biggs, G., & MacDonald, B. (2003). A survey of robot programmings systems. *Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA)* (pp. 1-3). Brisbane: ACRA.
- Bray, M., Koller-Meier, E., Müller, P., Schraudolph, N., & Van Gool, L. (2005). Stochastic optimization for High-Dimensional Trackink in Dense Range Maps. *IEEE Proceedings-Vision, Image and Signal Processing*, 152(4), 501-512.
- Bu-Hai, S., Yong-Zhi, W., & Chuan, D. (2017). A design of realtime communication based on EtherCAT in industrial robot control system based on LinuxCNC. In *2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC)* (pp. 5776-5780). IEEE. 10.1109/CCDC.2017.7978198
- Bugday, M., & Karali, M. (2019). Design optimization of industrial robot arm to minimize redundant weight. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(1), 346-352. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.11.009>
- Denkena, B., Bergmann, B., & Lepper, T. (2017). Design and optimization of a machining robot. *Procedia Manufacturing*, 14, 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.11.010>
- Dilibal, S., & Şahin, H. (2018). İşbirlikçi endüstriyel robotlar ve dijital endüstri. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 2(1), 86-96. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/issue/36075/393765>
- Enes, E., Özcan, M., & Haklı, H. (2021). Building and Cost Analysis of an Industrial Automation System using Industrial Robots and PLC Integration. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.11.010>
- Garinei, A., & Marsili, R. (2012). A new diagnostic technique for ball screw actuators. *Measurement*, 45(5), 819-828. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.02.023>
- Gaspar-Badillo, J. E., Ramos-Arreguin, J. M., Macias-Bobadilla, G., Talavera-Velazquez, D., Rivas-Araiza, E. A., & Victor-Alexis, H. B. (2017). Four DOF pneumatic robot design and hardware interface. In *2017 XIII International Engineering Congress (CONIIN)* (pp. 1-7). IEEE. 10.1109/CONIIN.2017.7968190
- Guanjin, L., & Wenyi, L. (2018). Modal analysis of planetary gear train based on ANSYS Workbench. *15th International Conference on Ubiquitous Robots(UR)* (pp. 26-30). Hawaii: Convention Center. 10.1109/URAI.2018.8441798
- Honarpardaz, M., Tarkian, M., Ölvander, J., & Feng, X. (2017). inger design automation for industrial robot grippers: A review. *Robotics and Autonomous Systems*, 87, 104-119. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2016.10.003>

- Jamwal, P., Kapsalyamov, A., Hussain, S., & Ghayesh, M. (2020). Performance-based design optimization of an intrinsically compliant 6-dof parallel robot. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 48, 1-16. <https://doi.org/10.1080/15397734.2020.1746669>
- Kacı, L., Briot, S., Boudaud, C., & Martinet, P. (2019). Design of a Wooden Five-bar Mechanism. In *ROMANSY 22–Robot Design, Dynamics and Control* (pp. 331-339). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-78963-7\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-319-78963-7_42)
- Karaçizmeli, C., Çakır, G., & Tükel, D. (2014). Robotic hand project. In *2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 473-476). IEEE. 10.1109/SIU.2014.6830268
- Kohrt, C., Stamp, R., Pipe, A., Kiely, J., & Schiedermeier, G. (2013). An online robot trajectory planning and programming support system for industrial use. *Robotic and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(1), 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2012.07.010>
- Koç, S. & Doğan, C., (2020). Mekanik Bir Robot Tutucusu Tasarımı ve İmalatı. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 835-845. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.595155>
- Li, T., An, X., Deng, X., Li, J., & Li, Y. (2020). A new tooth profile modification method of cycloidal gears in precision reducers for robots. *Applied Sciences*, 10(4), 1266. <https://doi.org/10.3390/app10041266>
- Okwudire, C. (2011). Improved screw-nut interface model for high-performance ball screw drives. *Journal of Mechanical Design*, 133(4), 041009. <https://doi.org/10.1115/1.4004000>
- Park, C., & Park, K. (2008). Design and kinematics analysis of dual arm robot manipulator for precision assembly. In *2008 6th IEEE International Conference on Industrial Informatics* (pp. 430-435). IEEE. 10.1109/INDIN.2008.4618138
- Pham, A., & Ahn, H. (2018). High precision reducers for industrial robots driving 4th industrial revolution: state of arts, analysis, design, performance evaluation and perspective. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 5(4), 519-533. <https://doi.org/10.1007/s40684-018-0058-x>
- Rader, S., Kaul, L., Fischbach, H., Vahrenkamp, N., & Asfour, T. (2016). Design of a high-performance humanoid dual arm system with inner shoulder joints. In *2016 IEEE-RAS 16th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)* (pp. 523-529). IEEE. 10.1109/HUMANOIDS.2016.7803325
- Raza, K., Khan, T., & Abbas, N. (2018). Kinematic analysis and geometrical improvement of an industrial robotic arm. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 30(3), 218-223. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2018.03.005>
- Rossano, G. F., Martinez, C., Hedelind, M., Murphy, S., & Fuhlbrige, T. A. (2013). Easy robot programming concepts: An industrial perspective. In *2013 IEEE international conference on automation science and engineering (CASE)* (pp. 1119-1126). IEEE. 10.1109/CoASE.2013.6654035
- Sahu, S., Choudhury, B., & Biswal, B. (2017). A vibration analysis of a 6 axis industrial robot using FEA. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 2403-2410. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.090>
- Sugavaneswaran, M., Rajesh, N., & Sathishkumar, N. (2020). Design of robot gripper with topology optimization and its fabrication using additive manufacturing. In *Advances in Additive Manufacturing and Joining* (pp. 75-85). Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-32-9433-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-32-9433-2_6)
- Wai, E., & Aung, S. (2019). Design and Implementation of 4-Axis CNC Machine. *International Journal of Recent Innovations in Academic Research*, 3(8), 60-71.
- Wen, J., & Murphy, S. (1991). Stability analysis of position and force control for robot arms. *IEEE Transactions on Automatic control*, 36(3), 365-371. [http://cats-fs.rpi.edu/~wenj/papers/force\\_control\\_mar\\_91.pdf](http://cats-fs.rpi.edu/~wenj/papers/force_control_mar_91.pdf)
- Xiong, Y., Ge, Y., Grimstad, L., & From, P. (2020). An autonomous strawberry-harvesting robot: Design, development, integration, and field evaluation. *Journal of Field Robotics*, 37(2), 202-224. <https://doi.org/10.1002/rob.21889>

## Görsel ve işitsel algı ilişkisinin müzik türüne bağlı bitkisel tasarım örnekleri üzerinden incelenmesi

*Investigation of relationship between visual and aural perception on planting design samples depending on the type of music*

**Saliha TAŞÇIOĞLU \*<sup>1,a</sup>, Adem KORKMAZ <sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup>Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, 79000, Kilis

<sup>2</sup>Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi, Gönen MYO, Bilgisayar Programcılığı Bölümü, 10900, Balıkesir

• Geliş tarihi / Received: 01.03.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 14.01.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 04.02.2022

### Öz

İnsanların geçmiş deneyim ve birikimleri doğrultusunda edindiği izlenimleri, duyular aracılığıyla bilgiye dönüştürmesi, algı olarak ifade edilmektedir. Bu izlenimler kullanıcıların belirli bir nesne veya mekâna karşı, tutum ve yaklaşımlarını belirlemektedir. Duyum ile başlayıp, anlam yükleme ve algıya uzanan süreç içerisinde işitsel ve görsel algı sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışma kullanıcıların, görsel ve işitsel algıları arasındaki etkileşimi ve işitsel uyarıların çevre algısına etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu bağlamda, Kilis ilinde bulunan 22 katılımcıdan, 5 farklı müzik türüne ait örneği, ses frekans yoğunluklarına göre yapılan bitkisel tasarımlarla eşleştirmeleri istenmiştir. Bu doğrultuda dinletilen müzik örnekleri ile bitkisel tasarımların, ne derece doğru eşleştirildiği tespit edilmiştir. Çalışma sonunda doğru eşleştirme oranı Ufuk Beydemir-Ay tenli kadın ve Billie Eilish- Bad guy %18 ile en yüksek, diğerlerinin ise %13 oranı ile en düşük orana sahip olduğu görülmüştür. Katılımcılar görsel seçimlerini yaparken özellikle son üç müzik örneğinde hep kendilerinden önceki iki müzik örneğine ait görselleri tercih etmişlerdir. Bu durumda katılımcıların algı bellek durumunun tepki süreçlerinden kaynaklandığı söylenebilir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler insanların görsel seçimlerde işitsel algılarının etkisinin büyük olduğunu göstermektedir. Bu nedenle yapılacak olan başta peyzaj tasarım çalışmaları olmak üzere, pek çok çalışmada göz önünde bulundurulmasının fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Bitkisel tasarım, Çevresel algı, Görsel ve işitsel algı, Müzik, Peyzaj tasarım

### Abstract

It is expressed as perception that people transform the impressions they gain in line with their past experiences and knowledge into knowledge through senses. Auditory and visual perception are frequently used in the process that starts with sensation and extends to meaning loading and perception. The study aimed to determine the interaction between visual and auditory perceptions of the users and the effect of auditory stimuli on environmental perception. In this context, 22 participants from Kilis province were asked to match samples of 5 different music genres with planting designs made according to sound frequency intensities. Accordingly, it was determined to what extent the music samples played and planting designs were matched correctly. At the end of the study, it was observed that the correct matching ratio Ufuk Beydemir-Moon-skinned woman and Billie Eilish- Bad guy was the highest with 18%, while the others had the lowest rate with 13%. While making their visual choices, especially in the last three music samples, the participants always preferred the visuals of the two music samples before them. It can be said that this situation stems from the reaction processes of the perceptual memory of the participants. The data obtained as a result of the study show that auditory perceptions have a great effect on visual choices. For this reason, it is thought that it will be beneficial to consider many studies, especially landscape design studies.

**Keywords:** Planting design, Environmental perception, Visual and auditory perception, Music, Landscape design

\*a Saliha TAŞÇIOĞLU; slhtascioglu@gmail.com, Tel: (0348) 814 26 66-7210, orcid.org/0000-0002-3986-4207

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-7530-7715

## 1. Giriş

### 1. Introduction

İnsanlar doğdukları andan itibaren duyu organları sayesinde, çevreleri ile etkileşime girmeye başlamaktadır. Bu etkileşim, insanların tepkimelere karşı olumlu ya da olumsuz yargılara ulaşarak, seçimler yapmasını sağlamaktadır. Sosyal birey olmamızın en temel bileşeni olan seçimler, algılarımızın sonucunda verdiğimiz kararlar olarak ifade edilebilir.

Terim olarak incelendiğinde algı; duyular aracılığıyla dikkatin yöneldiği şeyin bilincine varma eylemidir (Akarsu, 1998). Algı durumunun oluşması için çevreden görme, işitme, dokunma gibi duyular sayesinde elde ettiğimiz birçok uyarının, bellekte bulunan bilgiler ile kıyaslanması gerekmektedir (Schunk, 2009). Bernstein (2010) algıyı, duyuların öğrenme, hafıza, beklenti ve dikkat tarafından şekillendirilmiş hali olarak tanımlamaktadır. Sevenant (2010) ise 'bildiklerinizi veya tanıdıklarınızı görürsünüz' ifadesi ile algının seçici olduğunu belirtmektedir. Hiç şüphesiz insanların entelektüel ve/veya sosyal arka planlarında edinilmiş bilgi, deneyim, kültür, etnik köken ve benzeri ile ilgili farklılıklar, neyin tanınacağını ve dolayısıyla neyin görüleceğini etkilemektedir.

Doğal bir ortamda, çeşitli durumlarda meydana gelen çok sayıda farklı duyu organları bulunmaktadır (Meredith vd., 1987). Fiziksel büyüklüklere sahip olan ışık, ses, cisim insanın duyu organlarını uyarmaktadır. Algılanan bu uyarılar, insanın biyolojik yapısı ile sinirsel aktiviteye dönüştürülüp, beyne iletilerek işlenmektedir. Uzak uyarının bu şekilde zihinsel olarak tekrar ortaya çıkarılması algı aracılığıyla olmaktadır (Goldstein, 2009). İnsanlar tarafından dış ortamdan alınan bilgilerin yaklaşık yüzde seksenden fazlası göz aracılığı ile algılanmakta (Berger, 1989) bundan dolayı beyinde görme duyusunun gerçekleştiği korteks, diğer duylardan daha fazla yer kaplamaktadır (Farroni & Menon, 2008). Bu bağlamda mekânların algılanmasında görme duyusu en önemli görevi üstlenmektedir. Gözün bir sınır içerisine alarak algıladığı görüntü, mekana dönüştürülmektedir. Duyuma açık ve duyulan dünya görünen dünya olarak ifade edilirken; görünen dünyanın bilgiyle ilişki olduğu durumda ise algılanan dünya ifadesi ortaya çıkmaktadır. Görme, bilgiyle etkileşime girdiği zaman görünümünün dünyanın açıklanması mümkün olmaktadır (Fancher, 1990). Türk Dil Kurumu ise görüntü kelimesini "görüntü, gerçekte var olmadığı hâlde varmış gibi görünen şey" şeklinde

tanımlamaktadır (TDK, 2020). Bu durum mekân üzerinden irdelendiğinde insanlar tarafından inşa edilmiş bir çevrenin temelini oluşturan, geçmiş deneyim ve birikimler doğrultusunda gelişen en önemli unsur olduğu söylenebilir. Kısa ve uzun süreli bellek bu noktada mekânın anlamlandırılmasında ve o mekâna ait imgenin oluşmasında önem taşımaktadır (Turgay, 2013).

Görsel algı, insanların dış dünya uyarılarını gözler aracılığı ile anlamlandırma faaliyetidir. Görülen şey, insanı yapımı ortamlarda karmaşık ve belirsiz olabilir, böyle durumlarda insanlar "öğrenilmiş tahminler" yaparak ve geçmiş deneyime dayalı görsel girdileri yorumlamaktadır. Algı doğrudan uyarılara bağlı bir süreç olmadığı gibi, uyarılar arasındaki ilişkiler anlaşılırsa doğru algılama oluşmaktadır (Reardon, 2004). Görsel algılama, görsel uyarıları tanıma, ayırt etme ve daha önceki deneyimlerle harmanlayarak anlamlandırma yeteneğidir (Kulp vd., 2004). Bu anlamda değerlendirildiğinde görsel algı daima aktif bir süreçtir: görsel girdileri verimli bir şekilde işlemek için beyin önceki bilgileri ve algıladığımız dünyanın neye benzemesi gerektiği konusunda beklentileri sürekli aktif olarak kullanmaktadır. Ancak, algı tek başına önceki bilgilerden etkilenmemektedir. Özellikle duygusal uyarıların algılanması, gözlemcinin duygusal durumundan etkilenmektedir. Başka bir deyişle, dünyayı nasıl algıladığımız sadece dünya hakkında bildiklerimize değil, aynı zamanda nasıl hissettiğimize de bağlıdır (Jolij & Meurs, 2011).

Bitkisel tasarım çalışmalarında, kullanılacak olan bitkilerin özellikleri, çevreyle olan ilişkileri ve bir arada yaşam koşullarını da bilmek gerekir. Çünkü bitkiler büyüyen, gelişen ve zaman içinde değişen elemanlardır. (Gültekin 1990; Acar vd., 2003). Bitkisel tasarımın işlevsel, ekolojik ve estetik olmak üzere üç ana amacı bulunmaktadır. Bazı durumlarda bu amaç ve karakter insanların araziyi kullanım çeşitliliğine bağlı olarak değişmektedir. Burada ihtiyaç duyulan şey, bu fonksiyonlar için gerekli olan yeterli miktarda mekân, uygun iklim ve estetik özelliklerin sağlanmasıyla mümkün olmaktadır (Robinson, 2004). Bu amaçların yanı sıra, doğal veya özel olarak yetiştirilen bitkilerin güzelliğinden haz almayı sağlayan olanaklar sunmaktadır. Örneğin çiçekleri, dalları ve meyveleri hissetmek, koklamak ve seyretmek, hatta rüzgârın ve yağmurun bitkiler üzerinde oluşturduğu sesleri işitmek, insanların günlük hayat kalitesini büyük ölçüde yükseltmektedir (Karaşah & Var, 2012). Bu bağlamda yapılan (Bekçi ve vd., 2013; Acar ve vd., 2003; Kösa & Atik, 2013, Acar & Sarı, 2010; Sarı &



Karaşah,2018) çalışmalar kentsel alanlarda uygulanan bitkisel tasarım çalışmalarının etkisini irdelemiştir.

Weinstein & Gridley (2010) ise çalışmalarında müzik dinletilen kişilerden müziği görselleştirmelerini istemiş, müzik ile görsel şekiller arasında bağlantı kurulmasını sağlamıştır. Buck (2014) çalışmasında müzikal seslerden manzara oluşturma yöntemlerini araştırmış, işitsel manzaraların oluşturulabileceğini ve hem çizim hem de sesin peyzaj olarak kabul edilebileceği önerilerde bulunmuştur. Peyzaj tasarımına eklenen ses etkisinin, mekân algımızda işitsel deneyimi daha belirgin hale getirdiğini belirlemiştir. Taşçıoğlu ve Günal (2021) görsel seçimlerde işitsel algı durumlarının etkisini ortaya koymuştur. Belirlenen görsel ve işitsel örneklerin kullanıcılar üzerinde oluşturduğu olumlu/olumsuz duygu durumları belirlenmiştir. Carles vd. (1999) görsel ve akustik uyaranlar arasındaki etkileşimin çevre algısı üzerindeki etkisini incelemiş, doğal seslerin, özellikle de su, manzaraya karşı olumlu duygular yaratmaya yardımcı olduğu tespit edilmiştir. Çevresel tercihlerin şekillendirilmesinde ses-görüntü uyumunun rolü, sesin görüntüye göre sağladığı bilgi içeriğine istinaden yorumlanabilir. Görüntü ve seslerin bilgi içeriğinin iki farklı düzlemde ilişkilendirilmesi, peyzaj çalışmalarında yepyeni ufuklar açmaktadır. Görüntüler seslerin etkilerini değiştirmekte ve ayrıca çevre kalitesini belirlemektedir (Carles vd.,1999).

Görsel ve işitsel algıların insanlar üzerinde yüksek bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bu iki algı türünün birbiriyle etkileşimi birçok bilimsel araştırmaya konu olmuştur. Çalışma bu anlamda işitilen bir müzik örneğinin, görsel dönüşümünü katılımcı eşleştirmeleri üzerinden belirlemeye çalışmaktadır. Bu amaçla katılımcılara dinletilen müzikler üzerinden, görsel materyaller aracılığıyla kullanıcıların bitkisel tasarımlara yaklaşımları belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında 2019 yılında Türkiye'de en çok dinlenen 5 farklı müzik türünden örnekler belirlenmiştir. Belirlenen müzik örneklerinin ses frekans yoğunluğuna bağlı olarak, bitkisel tasarımları oluşturulmuş ve kullanıcılarından bu görselleri müzikle eşleştirmeleri istenmiştir. Bu çalışmada, kullanıcıların görsel ve işitsel algıları arasındaki ilişki incelenmiştir Görsel ve işitsel algılar insanların değerlendirme/karar verme süreçlerinde yüksek etkiye sahip olduğundan, bu doğrultuda yapılacak peyzaj tasarım çalışmaları başta olmak üzere birçok çalışmada ele alınmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve metot

### 2.1. Material and method

Çalışma Kilis kenti şehir alanı sınırlarında yürütülmüştür. Farklı kullanıcı profilleri içermesi ve kent içerisinde en çok tercih edilen yerlerin başında olması nedeniyle çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada nitel veri toplama teknikleri kullanılmıştır. Nitel araştırma; Gözlem, görüşme ve doküman analizi gibi nitel veri toplama yöntemlerinin kullanıldığı, algıların ve olayların doğal bir ortamda gerçekçi ve bütüncül bir şekilde ortaya çıkarılması için nitel bir sürecin izlendiği araştırma olarak tanımlanabilir (Yıldırım & Şimşek, 2013). Çalışmada amaçlı örnekleme yolu izlenmiştir. Bu amaçla Kilis 7 Aralık Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulunda görev yapan öğretim üyeleri ve öğretim üyeleri ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında anket formları, çalışmaya katılmayı kabul eden 22 denek üzerinde uygulanmıştır. Çalışma ülkemiz ve dünya genelinde etkili olan Covid-19 salgını nedeniyle uygulanan kısıtlamalar nedeniyle az sayıda katılımcıya uygulanabilmiştir. Çalışmada görsel ve işitsel algı eğilimlerini belirlemek amacıyla, kullanıcı araştırması gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda oluşturulan anket formu iki bölüm ve 9 sorudan oluşmaktadır. İlk bölümde kullanıcı profiline yönelik kişisel bilgiler ve müzik tercihleri yer almakta, ikinci bölümde katılımcıların görsel ve işitsel beğenileri yanı sıra dinletilen müzik örneği doğrultusunda yapmış oldukları bitkisel tasarım eşleştirmeleri yer almaktadır.

### 2.1. Müziklerin belirlenmesi ve bitkisel tasarımların oluşturulması

#### 2.1.1. Determination of music and creation of planting designs

Bitkisel tasarımların oluşturulabilmesi için öncelikle Spotify müzik dinleme platformunun 2019 senesi içerisinde Türkçe ve Yabancı "En çok dinlenen şarkılar" listesinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Dijital platform üzerinden müzik dinlemeyi sağlayan birçok uygulama bulunmakta, ancak her cihaz ve operatör üzerinden erişim konusunda kısıtlılıklar bulunmaktadır. Bu nedenle çalışmada incelenen platform Spotify platformu ile sınırlandırılmıştır.

Müziğin tüm türleri de içinde barındıran en genel ve yaygın sınıflandırmasına göre müzik şu ana türlere ayrılmaktadır; Temel Müzik, (Elementer Müzik, Ön Müzik), Halk Müziği, Sanat Müziği, Popüler Müzik (Yığın Müziği, Kitle Müziği), Öncü Müzik (Avangart Müzik) (Uçan, 2017). Bu anlamda günümüzde çeşitli türler ortaya çıkmış ve

farklı sınıflandırmalar gelişmiştir. Son dönem çalışmalar incelendiğinde müzik türlerinin tercihi ile ilgili (Ulutürk, 2008; Bozkurt, 2015; Koca & Koç, 2010) çalışmalarından yararlanılmış ve müzik kategorileri oluşturulmuştur.

Türkçe müzik listesinden pop, rap, rock ve halk müziği olarak 4 farklı kategoride en çok dinlenen müzik örnekleri seçilmiştir. Yabancı kategorisinden ise Dünya’da en çok dinlenen müzik örneği seçilmiştir. Belirlenen bu örneklerin kendi türü içerisinde daha çok tercih edilen olmasına dikkat edilmiştir.

Belirlenen müzik kategorilerine ait örnekler (Ulukan, 2019);

- 1.Rap Müzik “Ezhel-Felaket”
- 2.Pop Müzik “Ufuk Beydemir-Ay Tenli Kadın”
- 3.Türk Halk Müziği “Sabahat Akkiraz - Üç Telli Turnam ”
- 4.Rock Müzik “Haluk Levent-Sen Olasın”
- 5.Yabancı Müzik “Billie Eilish-Bad Guy” şeklindedir.

Bir sonraki adımda, belirlenen müzik örneklerinin nakarat bölümlerinden 10 saniyelik kesitler belirlenerek ses frekans eğrisi oluşturulmuştur. Bu doğrultuda önceden belirlenmiş bitki türleri kullanılarak bitki tasarım çalışmaları oluşturulmuştur. Belirlenen ses frekans eğrisi, bitkisel tasarımın görünüş bazında çizgisel hattını oluşturmuştur. Ekolojik özelliklerin değerlendirilmesi araştırma kapsamı içerisine alınmamış olup, bitki tür ve kompozisyonlarının sadece görsel potansiyelleri ele alınmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan bitkilendirme tasarımı iki boyutlu olarak (görünüş) olarak değerlendirilmiştir. Bitkilendirme tasarımlarında ölçü, form, çizgi, doku, renk gibi tasarım öğeleri yer almaktadır. Çalışmada değerlendirmeye alınan tasarım öğeleri ise ölçü, form ve renk olarak belirlenmiştir.

**Çizgi:** Görsel kompozisyonda çizgi, bakışları yönlendirerek gözlemcinin dikkatini çekmektedir. Güçlü ve zayıf çizgiler mekân içinde ileri ve geri hareketlerle takip edilmektedir. Böylece çizgiler manzaraların algılanmasını etkilemektedir (Robinson, 2004). Hem doğal hem de insan eliyle yapılan tüm materyaller çizginin kaynağını oluşturmaktadır. Dallar, bitkilerin oluşturduğu bir sıranın yanısıra bir bitki topluluğu da silüet çizgisini oluşturabilir (Ayaşlıgil, 1997; Arın, 2010). Yatay çizgilere sahip bitkiler durağanlık ve dinlenme, dikey çizgilere sahip bitkiler ise, iddialı ve vurgulu bir etki vermektedir (Robinson, 1992; Karaşah, 2006). Belirlenen ses frekans eğrisi hattı

bir çizgi bütünü olarak kabul edilerek, belirlenen bitki türleri bir araya getirilmiştir.

**Ölçü:** Bitkisel tasarım içerisindeki boyut ilişkileri olarak ifade edilebilir (Robinson, 2004). Ölçü faktörü, hem estetik hem de işlevsel bakımdan tasarımda etkilidir. Örneğin Yol, bulvar, meydan vb. alanların bitkilendirmelerinde bitkilerin en son ulaşacakları ölçünün iyi bilinmesi gerekir. Bu durum mekân-ölçü ilişkisini iyi kurgulamak açısından gereklidir (Var, 1997; Karaşah & Var, 2012).

Bitki boyutu, bir alanın ölçeğini, kompozisyon ilgisini ve tasarımın genel çerçevesini doğrudan etkilemektedir. Bitki materyalleri ölçülerine göre; Ağaçlar (7 metre ve üzeri), Çalılar (30 cm- 7m), Yer Örtücüler (30 cm’e kadar), olarak sınıflandırılabilir (Booth, 1990). Kullanılan bitkiler bu üç temel ölçü gruplarını içerecek şekilde belirlenmiştir.

**Form:** Bir bitkinin üç boyutlu şekli olarak tanımlanabilir. Çeşitli yönlerden, mesafelerden görülebilmektedir (Robinson, 2004). Form; tasarımların önemli öğelerinden bir tanesidir. Bitki formları dinamik alanlar ve hoş silüetler oluşturmada önemlidir (Karaşah & Var, 2012). Bitki formları; sütun, yayılıcı/horizontal, yuvarlak, piramidal/konik, sarkıcı ve pitoresk şeklinde tanımlanabilir (Robinson, 2004). Bu formların insan üzerinde oluşturduğu etkiler ise; sütun (dikkat çekici, yukarı yönlü bakış yönlendirici), yayılıcı/horizontal (büyüklük etkisi veren, açıklık hissi) yuvarlak/küresel (yumuşaklık hissi), piramidal/konik (heyecanlandırıcı, canlandırıcı) sarkık/salkım (kasvetli hava, rahatlatıcı etki), pitoresk(rahatlama, gevşeklik) olarak tanımlanabilir (Booth, 1990; Var, 1997). Tüm bu algısal etkileri içeren formlara sahip bitkiler kullanılarak, müzik örneklerinin ses frekans eğrisine uyumlu bir tasarım oluşturulmuştur.

**Renk:** Renk faktörü yaprak, çiçek, meyve rengi, sonbahar renklenmesi olmak üzere çeşitlilik göstermektedir. İnsanlar rengin duygusal etkisini fark etmekte ve tepkilerini ona göre şekillendirmektedir (Walker, 1991). Renk etkisi, yapraklanma, çiçeklenme, meyve oluşturma, yaprak dökme zamanı olmak üzere çeşitlilik gösterirken, bitkiler yıl boyu renk etkilerini aynı kompozisyonda sunabilmektedirler (Eroğlu vd., 2005) Cheng & Tan (2018) insanların görsel algısının %80’inin renkle bağlantılı olduğunu ifade etmektedir (Karaşah, 2021). Kullanılan bitkilerin bu anlamda çeşitlilik içermesine dikkat edilmiştir.

Bitkilerin yapısal ve bitkisel diğer materyallerle olan ilişkilerini istenilen şekilde düzenlenmesi için kullanıldıkları mekânlarda bitkisel tasarım ilkeleri göz önünde bulundurulmalıdır (Kösa & Atik, 2013). Bitkisel tasarım ilkeleri olarak çeşitlilik, zıtlık ve uyum değerlendirmeye alınmıştır. Çünkü bitkisel tasarım ses frekans şiddetinin çizgisel eğrisine göre, tek boyutlu (görünüş) oluşturulduğu için bu durum kısıtlayıcı etki oluşturmuş ve diğer ilkelerin değerlendirilmesi uygun bulunmamıştır.

**Çeşitlilik:** Çizgide, biçimde, dokuda ve renkte çeşitlilik sağlanmasıyla düzenli ve ilginç bir peyzaj yaratılabilmektedir. Ancak bu; bir tasarımda her çalı ya da her ağacın farklı olması gerektiği anlamına gelmemelidir (Walker, 1991).

**Tablo 1.** Kullanılan bitki türleri  
**Table 1.** Plant species used

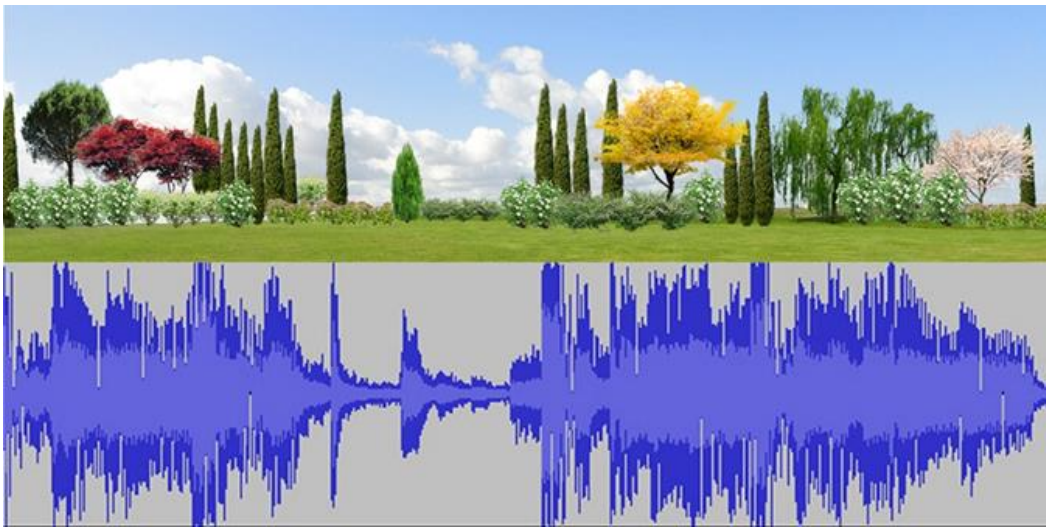
Latincesi	Türkçesi	Ölçü	Form	Renk
<i>Pinus pinea</i>	Fıstık çamı	Ağaç	Yuvarlak	Yeşil
<i>Cupressus macrocarpa</i> 'Gold Crest'	Limoni servi	Ağaç	Pramidal	Sarı
<i>Tilia tomentosa</i>	İhlamur	Ağaç	Yuvarlak	Sarı-Yeşil
<i>Cupressus sempervirens</i>	Mezarlık servisi	Ağaç	Sütun	Yeşil
<i>Prunus ceracifera</i> "Pissardii Nigra"	Süs eriği	Ağaç	Yuvarlak	Açık Pembe- Bordo
<i>Acer palmatum</i> "Atropurpureum"	Kırmızı yapraklı Japon akçaağacı	Ağaç	Yuvarlak	Kırmızı
<i>Salix babylonica</i>	Salkım söğüt	Ağaç	Salkım	Yeşil
<i>Philadelphus coronarius</i>	Filbahri	Çalı	Yuvarlak	Yeşil- Beyaz
<i>Cuphea sp.</i>	Kufeya	Çalı	Yayılıcı	Pembe
<i>Santolina sp.</i>	Lavantin	Çalı	Yayılıcı	Sarı-Grimsi yeşil
<i>Lampranthus roseus</i>	Acem halısı	Yer örtücü	Yayılıcı	Beyaz

Belirlenen tasarım öğeleri ve ilkeleri doğrultusunda Photoshop CS6 ile aynı bitki türleri kullanılarak, her müzik örneği için farklı bitki grupları oluşturulmuştur. Oluşturulan bitkisel tasarım örneklerinin hepsi bakış noktasından eşit uzaklıkta yer alacak şekilde oluşturulmuştur.

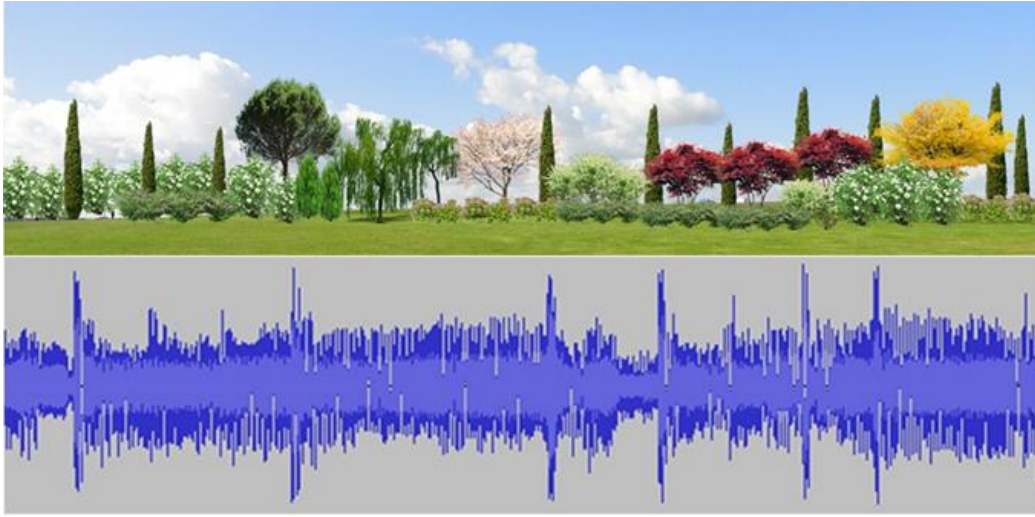
**Zıtlık ve uyum:** Uyum benzer bitki formları, dokular, çizgi karakterleri ve renkler arasında bulunurken, zıtlık ise bunun tam tersi olarak ifade edilebilir. Uyum ve zıtlık dengesinin sağlandığı bitkisel tasarım çalışmaları daha büyük etkiye sahip olur. Belli bir düzen ve estetik amaç içinde kullanılmayan kontrast ise karmaşaya neden olabilir (Robinson, 2004).

Bitkiler belirlenirken Türkiye geneline uyum sağlayabilen ve renk çeşitliliği sağlayabilecek bitkiler tercih edilmiştir. Ayrıca ses frekans değişimine göre kullanılacak farklı ölçü ve formlardan seçimler yapılmaya çalışılmıştır (Tablo 1). Belirlenen türler 5 farklı bitkisel tasarım çalışmasında da ses frekansına bağlı olarak bir araya getirilmiştir.

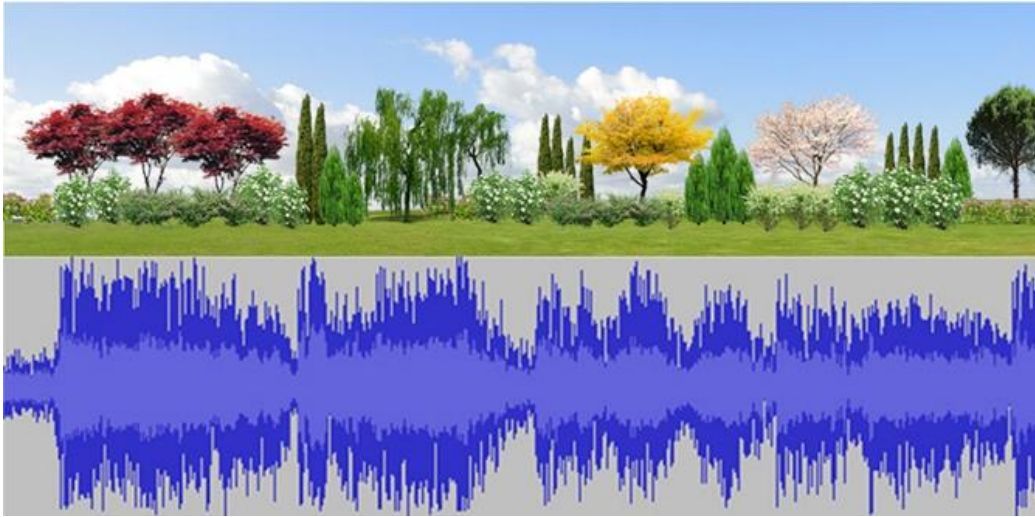
Algısal durumu etkilememesi açısından belirlenen bitkiler her tasarımda kullanılmış, ancak kullanılan adet ve boyutlarında frekans şiddeti ile uyum sağlaması açısından değişiklikler yapılmıştır (Şekil 1-5).



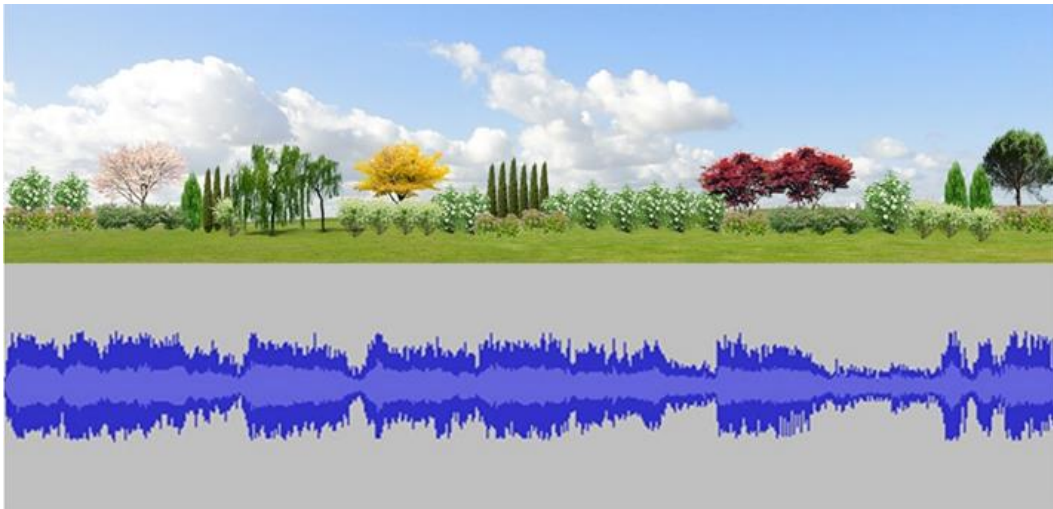
**Şekil 1.** Ezher-Felaket ses frekansına bağlı bitkisel tasarım örneği-Görsel C  
**Figure 1.** Example of planting design based on Ezher-Disaster sound frequency-Image C



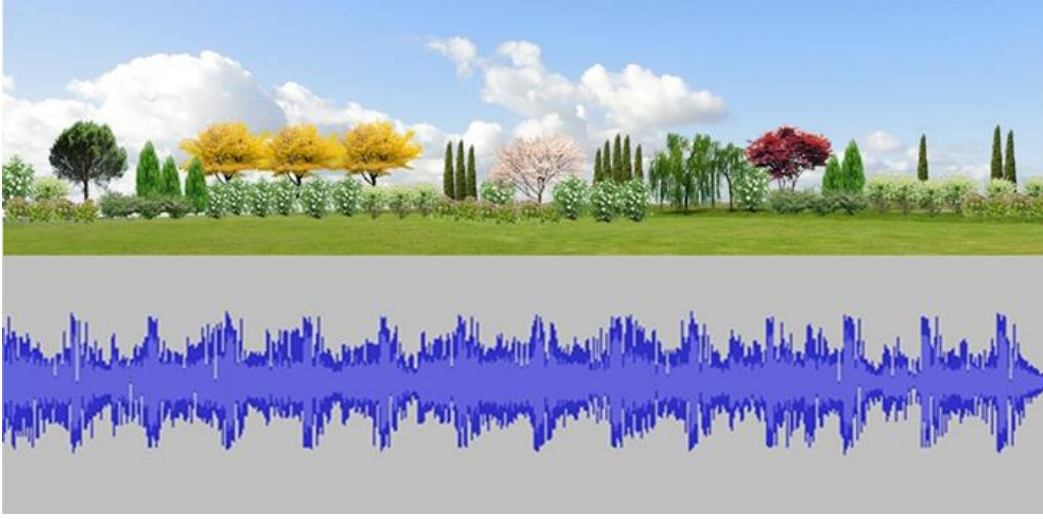
**Şekil 2.** Ufuk Beydemir-Ay tenli kadın ses frekansına bağlı bitkisel tasarım örneği – Görsel A  
**Figure 2.** Example of planting design based on Ufuk Beydemir-Moon skinned woman sound frequency- Image A



**Şekil 3.** Sabahat Akkiraz - Üç telli turnam ses frekansına bağlı bitkisel tasarım örneği – Görsel E  
**Figure 3.** Example of planting design based on Three string crane sound frequency- Image E



**Şekil 4.** Haluk Levent-Sen Olasın ses frekansına bağlı bitkisel tasarım örneği – Görsel B  
**Figure 4.** Example of planting design based on Haluk Levent-You will be an sound frequency- Image B



**Şekil 5.** Billie Eilish-Bad Guy ses frekansına bağlı bitkisel tasarım örneği – Görsel D  
**Figure 5.** Example of planting design based on Billie Eilish-Bad guy sound frequency– Image D

## 2.2. Kullanıcı uygulaması ve analizler

### 2.2. User application and analytics

Oluşturulan görsel ve işitsel anket verileri kullanıcılara sunulmuştur. İlk aşamada ayrı ayrı olmak üzere görsel ve işitsel beğeni değerlendirmesi yapılmıştır. Kullanıcılardan kendilerine gösterilen 5 bitkisel tasarım örneği ve müzik örneğini 1'den 5' e kadar sıralamaları istenmiştir. Tercih sıralaması yapılırken ilk tercih 1, son tercih 5 olacak şekilde puanlamaya tabii tutulmuştur.

Sonraki aşamada ise kullanıcılardan dinledikleri müzik örnekleri (işitsel algı) ile kendilerine gösterilen bitkisel tasarım örneklerini (görsel algı) eşleştirmeleri istenmiştir. Belirlenen müziklerin dinletilme sıralaması; 1. Ezhel-Felaket, 2. Ufuk Beydemir-Ay Tenli Kadın, 3. Sabahat Akkiraz - Üç Telli Turnam, 4. Haluk Levent-Sen Olasın ve 5. Billie Eilish-Bad Guy şeklindedir. Bu doğrultuda oluşturulan müzik örneklerine ait görseller, katılımcılar açısından objektif olarak değerlendirilebilmesi için alfabetik olarak kodlanmış ve kullanıcıların beğenisine sunulmuştur. Her bir müzik örneğinin 1 dakikalık nakarat kısmı dinletilirken, görseller kullanıcının görüş alanını dolduracak şekilde alfabetik sıraya göre 5'er saniyelik aralıklarla projeksiyon ile gösterilmiştir. Katılımcı her bir müzik örneğini dinlerken, kendisine sunulan görseller içerisinde kendi düşüncesine göre en uygun olanı belirlemiştir. Görsel ve işitsel algı yoluyla elde edilen veriler değerlendirilerek oransal veriler elde edilmiştir.

## 3. Bulgular

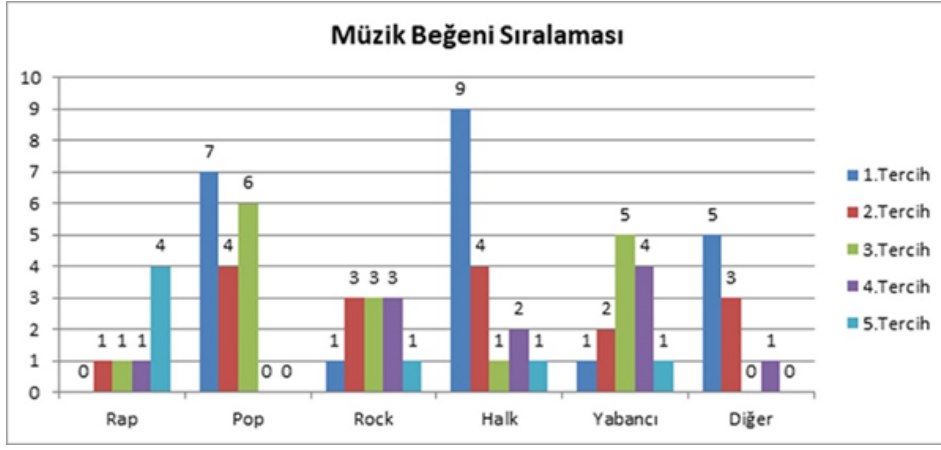
### 3. Results

Katılımcıların medeni durumu incelendiğinde %36'sının (n=8) bekar, %64'ünün (n=14) ise evli olduğu saptanmıştır. Cinsiyet dağılımlarında ise %64 (n=14) ile erkek katılımcılar en yüksek orana sahipken, kadınların oranı ise %36'dır (n=8). Çalışmaya katılan katılımcıların eğitim seviyesi incelendiğinde %45 ile doktora (n=10) ve %41 yüksek lisans (n=9) mezunları en yüksek orana sahip iken lisans mezunları %14 (n=3) ile en düşük orana sahiptir. Katılımcıların yaş dağılımlarında en yüksek oranı %64 (n=14) ile 32-40 yaş aralığı katılımcılar oluşturmaktadır. Katılımcıların %50'si günlük müzik dinleme süresini 0-30dk, %32'si 30dk-1 saat ve %18'si 1-3 saat olarak ifade etmiştir.

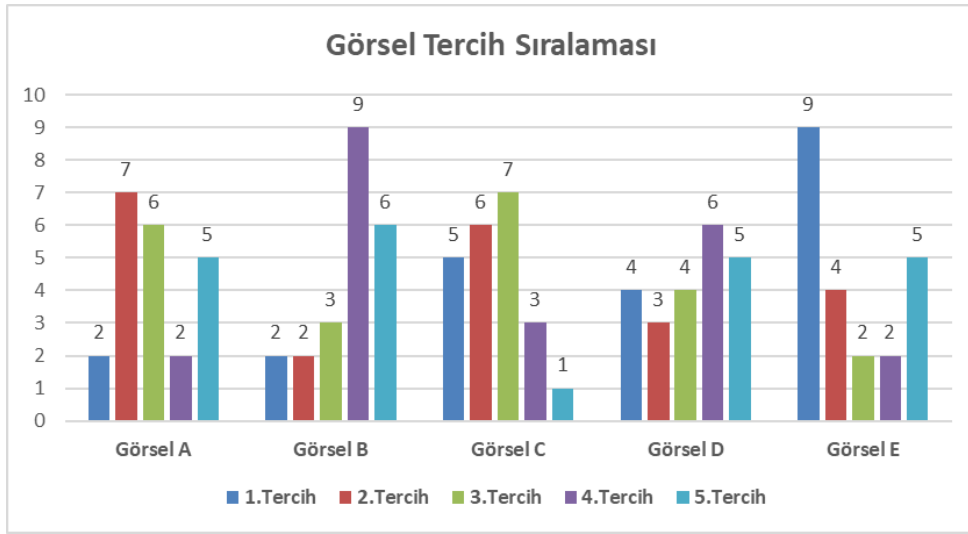
Katılımcıların Şekil 6'da verilen müzik beğeni sıralamasına bakıldığında, birinci tercihte halk müziğini ikinci tercihte ise pop müziği tercih ettikleri görülmektedir. Rap müzik, tercih sıralamasında son müzik türü yani en az beğenilen müzik türü olarak belirlenmiştir.

Katılımcıların Şekil 7'deki görsel beğeni sıralamasına bakıldığında, ilk tercihte en çok E görselinin (9) seçildiği belirlenmiştir. En az beğenilen görsel ise yani 5. Tercihdeki en yüksek değer B görseli (6) olmuştur.

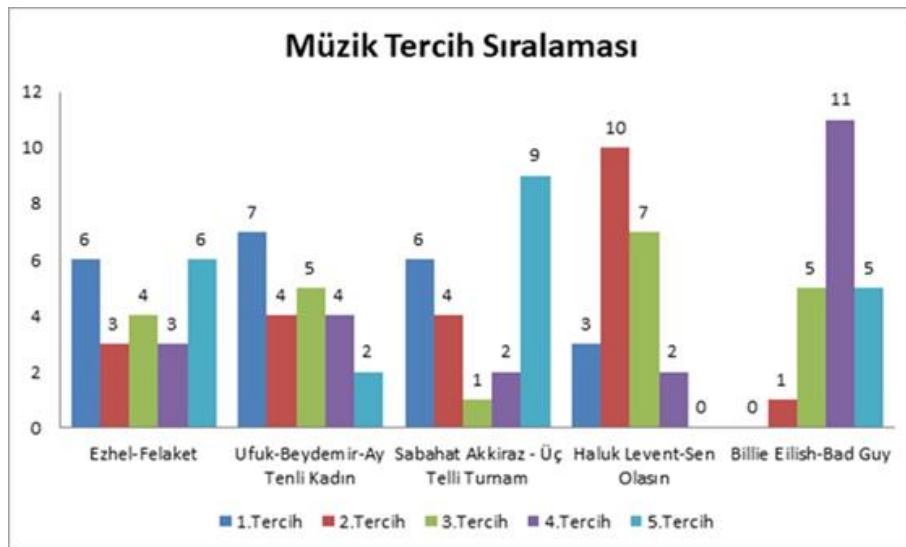
Şekil 8 incelendiğinde ilk tercihte en beğenilen müzik örneğinin 7 ile "Ufuk Beydemir-Ay tenli kadın" olduğu belirlenmiştir. En az beğenilen ise 5. Tercihde en yüksek değere sahip olan 9 "Sabahat Akkiraz- Üç telli turna" olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6. Katılımcıların müzik beğeni sıralaması  
Figure 6. Ranking of participants' music likes



Şekil 7. Katılımcıların görsel beğeni sıralaması  
Figure 7. Ranking of participants' visual like



Şekil 8. Katılımcıların müzik tercih sıralaması  
Figure 8. Music preference order of the participants

### 3.1. Müzik örneği -görsel eşleştirmesi

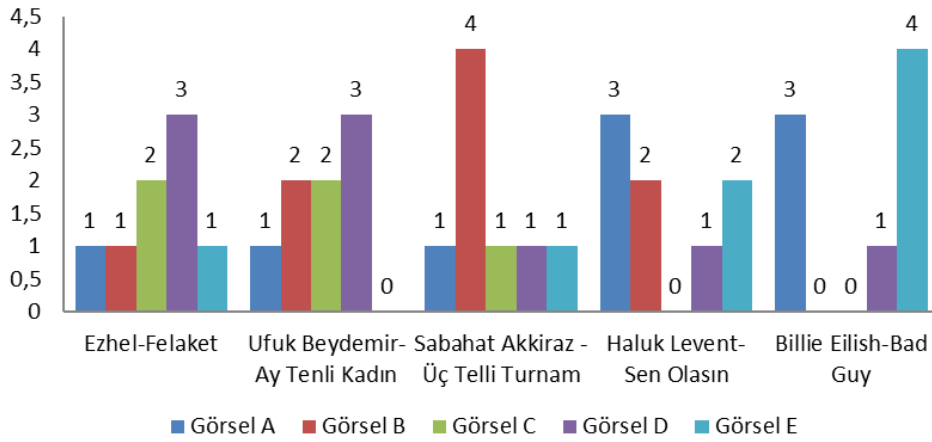
#### 3.1. Music sample-image matching

Bu bölümde, katılımcıların müzik örneğini dinlerken onunla eşleştirdikleri görseli içeren deneysel çalışmanın verilerine ilişkin istatistikler yer almaktadır.

Kadın katılımcıların her müzik örneği için en yüksek eşleşme oranları için Şekil 9 ve Şekil 10 incelendiğinde, katılımcıların Ezhel-Flaket görselini (Resim C) herhangi bir müzik örneği ile eşleştirmedikleri, ancak Billie Eilish-BadGuy görselini (Resim D) iki kez eşleştirdikleri görülmektedir. Şekil 10'daki yeşil oklar henüz

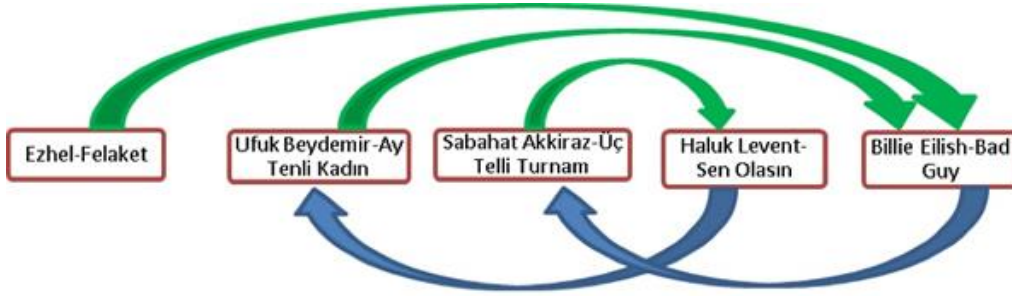
dinlenmeyen müzik örneğinin görseline yapılan eşleştirmeleri ifade etmektedir. Belirtilen sıra müzik örneklerinin dinletilme sırasını gösterirken okların çıkış noktası müzik, varış noktası ise görsel örneği ifade etmektedir. Bu bakımdan değerlendirildiğinde katılımcıların, dinlemedikleri müziklere ait görüntüler ile eşleştirme yaptıkları belirlenmiştir. Mavi oklar ise, o an kendilerine dinletilen müzik örneklerini daha önce dinledikleri müzik örneklerine ait görseller ile eşleştirdiklerini göstermektedir. Değerlendirme sonucunda 8 kadın katılımcının 5 müzik türü için yaptığı 40 eşleştirmeden 7'sinin müzik örneğine ait bitkisel tasarım örneğini doğru bir şekilde eşleştirdiği belirlenmiştir.

#### Kadınların Görsel-İşitsel Algı Etkileşim Grafiği



Şekil 9. Kadın katılımcıların görsel-ışitsel algı etkileşim grafiği

Figure 9. Audio-visual perception interaction graph of female participants



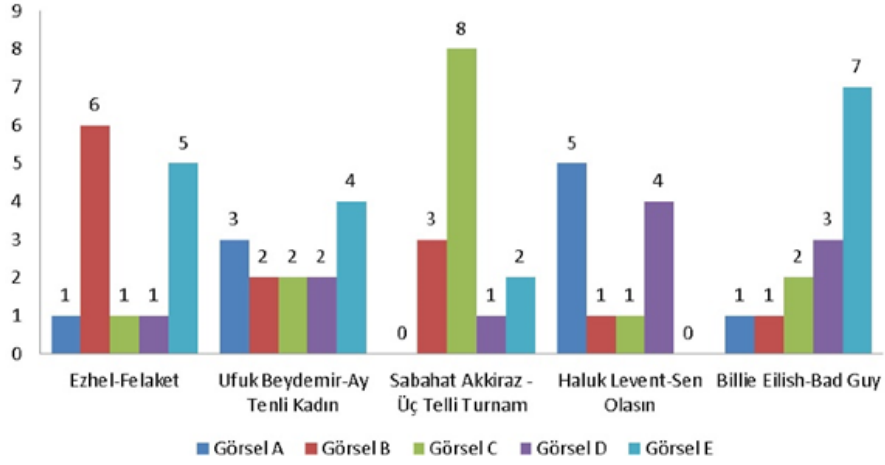
Şekil 10. Kadın katılımcıların görsel-ışitsel algı etkileşimi

Figure 10. Audio-visual perception interaction of female participants

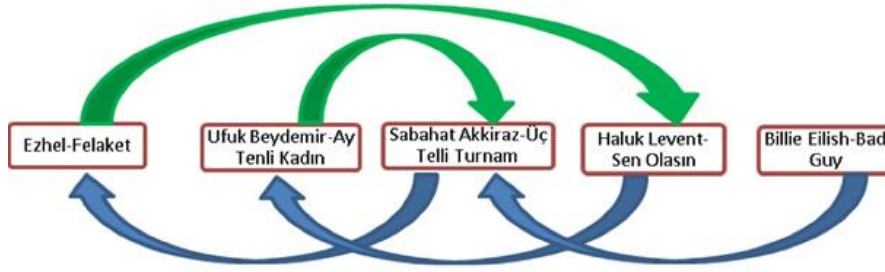
Erkek katılımcıların her müzik örneği için en yüksek eşleşme oranlarına göre; Şekil 11 ve Şekil 12 incelendiğinde katılımcıların Billie Eilish- Bad Guy görselini (Görsel D) hiçbir müzik örneği ile eşleştirilmediği, ancak Sabahat Akkiraz- Üç Telli Turnam görselini (Görsel E) ise 2 kez eşleştirmeye tabi tuttuğu görülmektedir. Şekil 12 incelendiğinde erkek katılımcıların ilk iki müzikte dinlemedikleri müzik örneklerine ait görselleri eşleştirdikleri bulunmuştur. Ayrıca son üç müzik örneğinin

görsel tercihinin bakıldığında, katılımcıların dinledikleri müziğin görseli yerine iki önceki müzik örneğinin görselini tercih ettikleri saptanmıştır. Toplam 14 erkek katılımcının yaptığı 70 eşleştirmeden 10 tanesinin uyumlu eşleştirdiği belirlenmiştir. Kadın katılımcı sayısı erkek katılımcılara göre daha az olmasına rağmen, doğru eşleştirme oranı kadınlarda %17,5 iken erkeklerde ise %14,2 olarak tespit edilmiştir.

### Erkeklerin Görsel-İşitsel Algı Etkileşim Grafiği



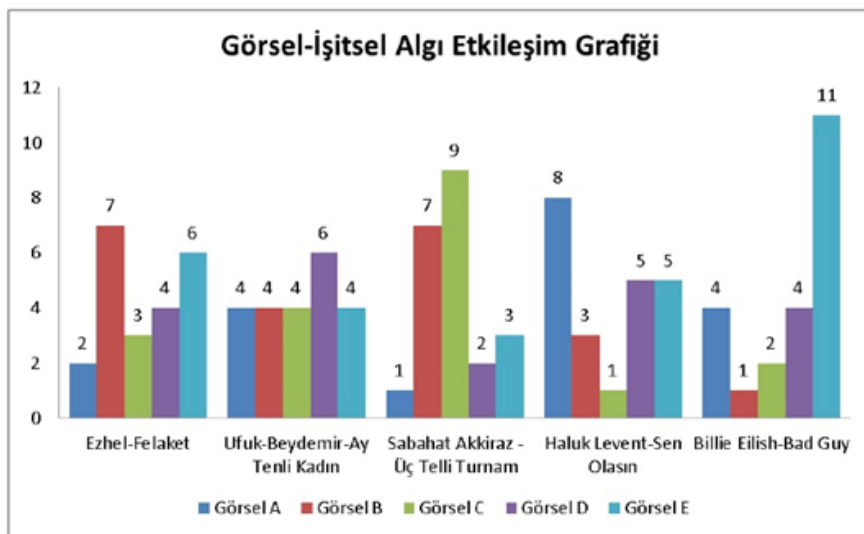
Şekil 11. Erkek katılımcıların görsel-ışitsel algı etkileşim grafiği  
Figure 11. Audio-visual perception interaction graph of male participants



Şekil 12. Erkek katılımcıların görsel-ışitsel algı etkileşimi  
Figure 12. Audio-visual perception interaction of male participants

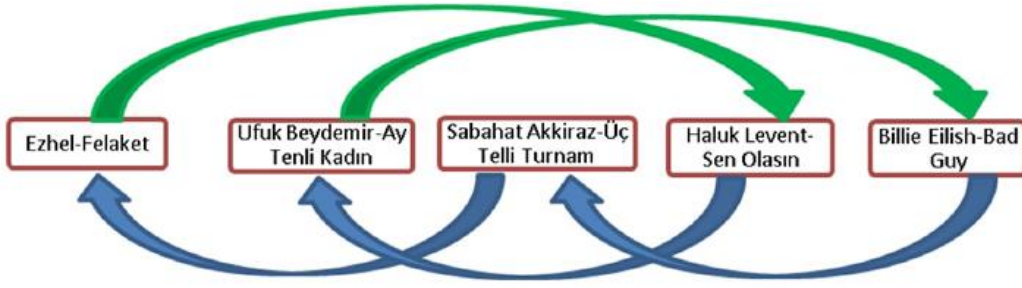
Eğitim seviyesine göre değerlendirildiğinde lisans mezunu 3 kişinin toplam 15 eşleştirmesinden hiçbirinin doğru olmadığı, Yüksek Lisans mezunlarının toplam 45 eşleştirmeden 7 tanesinin

doğru olduğu ve Doktora mezunlarının toplam 50 eşleştirmeden 10 tanesinin doğru olduğu belirlenmiştir. Bu bakımdan doğru tespit oranı doktora eğitim seviyesinde daha yüksek olmuştur.



Şekil 13. Katılımcıların görsel-ışitsel algı etkileşim dağılımı  
Figure 13. Audio-visual perception interaction distribution of the participants





**Şekil 14.** Katılımcıların görsel-ışitsel algı etkileşimi diyagramı

**Figure 14.** Audio-visual perception interaction diagram of the participants

Tüm katılımcıların her müzik örneği için en yüksek eşleşme oranlarına göre; Şekil 13 ve Şekil 14 incelendiğinde katılımcıların ilk sırada dinledikleri Ezhel-Felaket örneğini, dördüncü sırada dinledikleri Haluk Levent-Sen Olasın örneğine ait görsel (Görsel B) ile eşleştirdikleri belirlenmiştir. Benzer şekilde ikinci sırada dinletilen Ufuk Beydemir-Ay Tenli Kadın örneği de beşinci sırada dinledikleri Billie Eilish-Bad Guy örneğine ait görsel (Görsel D) ile eşleştirdikleri bulunmuştur. Ayrıca son üç müzik örneğinin görsel tercihine bakıldığında, katılımcıların dinledikleri müzik örneğinin görseli yerine iki sıra önceki dinledikleri müzik örneğinin görselini tercih ettikleri saptanmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde Görsel- İşitsel algı ya bağlı eşleştirme oranının Ufuk Beydemir -Ay tenli kadın ve Billie Eilish- Bad guy %18 (n=4) ile en yüksek olduğu, diğerlerinin ise %13 (n=3) orana sahip olduğu görülmüştür.

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

##### 4. Discussion and conclusions

Bu çalışmada, kullanıcıların görsel ve işitsel algıları arasındaki etkileşiminin yanısıra işitsel uyarıların, çevresel algıya etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda 22 katılımcıdan 5 farklı müzik türüne ait örneği, ses frekans eğrisine göre oluşturulan bitkisel tasarımlarla eşleştirmeleri istenmiştir. Bu doğrultuda dinletilen müzik örnekleri ile bitkisel tasarımların, ne derece doğru eşleştirildiği tespit edilmeye çalışılmıştır. 2019 yılı beğeni istatistiklerine göre seçilen örneklerin, katılımcıların müzik beğenileri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Katılımcılardan sadece müzik örneklerini değerlendirmeleri istendiğinde, Sabahat Akkiraz-Uç Telli Turnam en düşük oranda beğeniye sahip olarak belirlenmiştir. Sadece görselleri değerlendirmeleri istendiğinde, en çok beğenilen görselin ise E görseli (9) olduğu belirlenmiştir. Oysaki E görseli bu müzik örneğinin ses frekans eğrisine göre oluşturulmuştur. Bu durum, belirlenen müzik örneğinin işitsel algısının

olumsuz, görsel algısının ise olumlu bir etkiye sahip olduğu şeklinde değerlendirilebilir. A (Ezhel-Felaket) ve C (Ufuk Beydemir-Ay tenli kadın) görseli en az eşleştirme yapılan görseller olarak belirlenmiştir (Şekil 13). Sadece müzikler değerlendirildiğinde en çok beğenilen müzik olan Ufuk Beydemir-Ay tenli kadın iken, müzikle birlikte görsel değerlendirme yapıldığında en az eşleştirme yapılan görsellerden biri olmuştur. Çalışmada elde edilen veriler ışığında olumsuz/negatif seslerin, işitsel algıya dayalı oluşturulan görsellerle olumlu/pozitif etki yaratabileceği söylenebilir.

Katılımcıların cinsiyete göre görsel-ışitsel tercih durumları incelendiğinde (Şekil 9-12), her iki cinsiyet grubunda da ilk iki müzik örneğinde de anlamlı bir eşleştirme bağlantısı bulunamamıştır. Kadın katılımcıların belirlenen müzik örnekleri ile bitkisel tasarım örneklerini daha yüksek oranda doğru eşleştirdiği belirlenmiştir.

Çevremizi nasıl algıladığımız büyük ölçüde düşündüğümüz şeyle belirlenir. Ancak, algısal işleme sadece bilişsel veya meta-bilişsel süreçlerden etkilenmez. Duygu ve özellikle ruh hali, algısal işleme üzerinde eşit derecede güçlü bir etkiye sahiptir. (Gasper & Clore, 2002; Jolij & Meurs, 2011). Şaşırtıcı olmayacak bir şekilde, ruh halinin duygusal görsel uyarıların işlenmesi üzerinde de derin etkileri olmaktadır (Chen vd., 2008). Carles vd. (1999), Taşçıoğlu & Günel (2021) görüntü ses etkileşimi ve duygu durumu ile ilgili bu tespiti destekler nitelikte sonuçlar içermektedir. Buck (2014), Weinstein & Gridley (2010) müziği görsel verilerle ilişkilendiren sonuçlar içermesi açısından çalışma sonuçları ile uyumludur. Bu durum dikkate alınarak Şekil 14 incelendiğinde; Katılımcıların işitsel algılarına bağlı olarak yaptıkları görsel tercihlerde, son üç müzik örneğinin etkileşim sürecinde, katılımcıların her zaman iki sıra önceki müzik örneklerinden oluşturulan görselleri tercih ettikleri belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde katılımcıların önceki iki aşamada dinledikleri örnek doğrultusunda

tercihlerini yaptıkları söylenebilir. Seçimlerini önceki aşamalara bağlı kalarak yapmış olmaları, anket üzerinde değerlendirme sürecinin yapılmış olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Katılımcıların görsel-ışitsel algıları bağlamında bir bağlantı olduğu, ancak anket gerçek zamanlı nörolojik veri sağlamadığı için eşleştirmede önce dinletilen müzik örneğine bağlı eşleşme sağlandığı söylenebilir. Ancak ilk iki müzik örneği incelendiğinde böyle bir bağlantı bulunamamıştır.

Duygusal olumsuzluk etkisinin bilgi işlem akışının her adımında gerçekleştiği açıktır. Bununla birlikte, ruh hali durumları, bireylerin bilişsel süreçlerini büyük ölçüde etkiler ve olumsuz uyarılara karşı insan duyarlılığı üzerinde bir etkisi olabilmektedir (Bower, 1981,1987).

Gerçek zamanlı veri etkileşimi sağlayan nörolojik veri toplama sistemleri ile katılımcı tercihlerinin değerlendirilmesi, önyargılı verileri en aza indirecek ve daha doğru sonuçlar verecektir. Bu doğrultuda çalışmanın insan-bilgisayar etkileşimi süreçleri olan göz takibi ve Elektroensefalografi (EEG) gibi yöntemler kullanılarak geliştirilmesi önerilebilir.

Çalışma sonucunda elde edilen veriler, işitsel algıların insanların görsel seçimleri üzerinde büyük etkisi olduğunu göstermektedir. İşitsel uyarılar, insanların görsel seçimlerini anlık olarak etkilemektedir. Bu açıdan yapılacak görsel tasarımlarda bu etki göz önünde bulundurularak daha verimli tasarımların oluşturulacağı söylenebilir.

### **Teşekkür**

#### *Acknowledgement*

Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları geliştirici katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederiz.

### **Yazar katkısı**

#### *Author contribution*

Birinci yazar makale konusunun seçimi, kurgusu, yapılacak analiz ve uygulamalara karar vermiş, diğer yazar ise deneysel çalışmanın yürütülmesi, analizler ile birlikte makale yazımına eşit oranda katkı sağlamıştır.

### **Etik beyanı**

#### *Declaration of ethical code*

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi”

kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz. Çalışma Kilis 7 Aralık Üniversitesi E-76062934.044. sayılı Etik Kurulu kararını içermektedir.

### **Çıkar çatışması beyanı**

#### *Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Kaynaklar**

#### *References*

- Acar, C., Demirbaş, E., Demirbaş, E., Dinçer, P., Dinçer, P., Acar, H., & Acar, H. (2009). Anlamsal farklılaşım tekniğinin bitki kompozisyonu örneklerinde değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 4(1), 15-28. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/tjf/issue/20880/24225>.
- Acar C., & Sarı D. (2010). Kentsel yerleşim alanlarındaki bitkilerin peyzajda kullanım tercihleri açısından değerlendirilmesi: Trabzon kent örneği, *Ekoloji* 19 (74): 173-180.
- Akarsu, B. (1998). *Felsefe terimleri sözlüğü*. Baskı İnkılap Kitabevi. İstanbul.
- Arın, Ö. (2010). *Bitkisel tasarımın görsel açıdan değerlendirilmesine yönelik bir araştırma: Bursa soğanlı botanik parkı örneği*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ayaşlıgil, Y. (1997). *Bitkisel kullanım ders notları*, İstanbul.
- Bekci, B., Var, M., & Taşkan, G. (2013). The evaluation of Bartın's natural species in urban space areas with regard to plantation design criteria: Bartın, Turkey. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1), 113-125. Retrieved from <http://ofd.artvin.edu.tr/en/pub/issue/2266/29875>.
- Berger, A. A. (1989). *Seeing is believing: An introduction to visual communication*. Mayfield Publishing Company, 1240 Villa Street, Mountain View, CA 94041.
- Bernstein, D. (2010). *Essentials of psychology*. Cengage Learning.
- Booth, N., 1990. *Basic elements of landscape architectural design*, Waveland Pres, Inc. Illinois, USA.

- Bower, G. H. (1981). Mood and memory. *American psychologist*, 36(2), 129. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.36.2.129>.
- Bower, G. H. (1987). Commentary on mood and memory. *Behaviour research and therapy*, 25(6), 443-455.
- Bozkurt, S. S. (2015). *Ortaokul öğrencilerinin duygu durumlarına göre dinledikleri müzik türlerinin incelenmesi* Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü].
- Buck, D. N. (2014). Drawing sound as landscape. *Opticon* 1826, (16), DOI: [http://dx.doi.org/10.5334/opt.cb\\_](http://dx.doi.org/10.5334/opt.cb_)
- Carles, J. L., Barrio, I. L., & De Lucio, J. V. (1999). Sound influence on landscape values. *Landscape and urban planning*, 43(4), 191-200. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(98\)00112-1](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(98)00112-1).
- Chen, J., Yuan, J., Huang, H., Chen, C., & Li, H. (2008). Music-induced mood modulates the strength of emotional negativity bias: An ERP study. *Neuroscience letters*, 445(2), 135-139. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.08.061>
- Cheng, Y.N., & Tan, M., (2018). The quantitative research of landscape color: A study of ming dynasty city wall in Nanjing. *Color Research and Application*, 43, 436-448. <https://doi.org/10.1002/col.22203>.
- Eroğlu, E., Kesim, G. A., & Müderrisoğlu, H. (2005). Düzce kenti açık ve yeşil alanlarındaki bitkilerin tespiti ve bazı bitkisel tasarım ilkeleri yönünden değerlendirilmesi. *Journal of Agricultural Sciences*, 11(03), 270-277. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/ankutbd/issue/59744/861299>.
- Fancher, R.E. (1990). *Ruhbilimin öncüleri* (Aziz Yardımlı, Çeviri). İdea Yayıncılık.
- Farroni, T., & Menon, E. (2008). Visual perception and early brain development. Encyclopedia on early childhood development, Montréal, QC, *Centre of excellence for early childhood development*, retrieved May, 5(2009), 1-6.
- Gasper, K., & Clore, G. L. (2002). Attending to the big picture: Mood and global versus local processing of visual information. *Psychological science*, 13(1), 34-40. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00406>.
- Goldstein, E. B. (Ed.). (2009). *Encyclopedia of perception*. Sage. ISBN:978-1-4129-4081-8, USA.
- Gültekin E. (1990). *Bitki kompozisyonu*. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı No. 10, Adana.
- Jolij, J., & Meurs, M. (2011). Music alters visual perception. *PloS one*, 6(4), e18861. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018861>.
- Karaşah, B. (2006). *Kentsel dokuda bitkilendirme tasarımında yapılan yanlışlıkların belirlenmesi; Trabzon örneği* [Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü]
- Karaşah, B., & Var, M. (2012). Trabzon ve bazı ilçelerinde kent dokusundaki bitkilendirme tasarımlarının ölçü-form açısından irdelenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 14 (1. Special Issue), 1-11.
- Karaşah, B. (2021). Bitkilendirme tasarımında renk özellikleri dolayısıyla değerlendirilebilecek tıbbi ve aromatik bitkiler üzerine bir araştırma. *Turkish Journal of Forest Science*, 5(2), 536-550. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.982174>.
- Koca, E., & Koç, F. (2010). Gençlerin dinledikleri müzik türlerinin giyim tarzlarına etkisi. *Journal of New World Sciences Academy, Vocational Education*, 5(2), 37-49.
- Kösa, S., & Atik, M. (2013). Bitkisel peyzaj tasarımında renk ve form; çınar (*Platanus orientalis*) ve sığla (*Liquidambar orientalis*) kullanımında peyzaj mimarlığı öğrencilerinin tercihleri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1), 13-24.
- Kulp, S. C., Lee, H. L., & Ofek, E. (2004). Manufacturer benefits from information integration with retail customers. *Management science*, 50(4), 431-444. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1030.0182>.
- Meredith, M. A., Nemitz, J. W., & Stein, B. E. (1987). Determinants of multisensory integration in superior colliculus neurons. I. *Temporal factors*. *Journal of Neuroscience*, 7(10), 3215-3229. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.07-10-03215.1987>.
- Reardon, A. P. (2004). *Beyond intuition: A perceptual basis for the elements and principles of design* [Doctoral dissertation, Eastern Michigan University].
- Robinson, N. (1992). *The planting design handbook*, Gower publishing company limited gower house craft road aldershot hampshire gu11 3hr, England.
- Robinson, N. (2004) *The planting design handbook*. (2nd ed.). Ashgate Publishing, England.
- Sarı, D., & Karaşah, B. (2018). Bitkilendirme tasarımı öğeleri, ilkeleri ve yaklaşımlarının peyzaj tasarımı uygulamalarında tercih edilirliliği üzerine bir araştırma. *Megaron*, 13(3). <https://doi.org/10.5505/MEGARON.2018.29981>

- Schunk, D. H. (2009). *Öğrenme teorileri, eğitimsel bir bakışla* (M. Şahin, Çeviri). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Sevenant, M. (2010). *Variation in landscape perception and preference: experiences from case studies in rural and urban landscapes observed by different groups of respondents* [Doctoral dissertation, Ghent University].
- Taşçioğlu, S., & Günal, N. Y. B. (2021). Müziğin peyzaj algısı üzerindeki etkisi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2), 233-244.  
<https://doi.org/10.25308/aduziraat.935221>
- Turgay, O. (2013). Mekânların" Arayüz" nitelikleri bağlamında gündelik yaşantıdaki kalıcılığı. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 27-46.
- Türk Dil Kurumu (2020,30 Mayıs). "Görüntü", <https://sozluk.gov.tr/>
- Uçan, Ali (2017). Ankara'da Müzik Türlerinin Sınıflandırılması. (Ed. Ali Uçan, F. Gülay Mirzaoğlu). *Müziğiyle Ankara*, Ankara: Ankara Kalkınma Ajansı, 40-49.
- Ulukan, G. (2019, 15 Mayıs). "Spotify, 2019'un en çok dinlenenlerini açıkladı", <https://webrazzi.com/2019/12/03/spotify-2019-wrapped/>
- Ulutürk, N. (2008). *Anadolu güzel sanatlar lisesi müzik bölümü öğrencilerinin dinlemeyi tercih ettikleri müzik türleri*. [Yüksek Lisans Tezi. Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü]
- Var, M. (1997). *Bitkilendirme tasarımı, Karadeniz teknik üniversitesi orman fakültesi peyzaj mimarlığı bölümü basılmamış ders notları*, Trabzon.
- Walker, T. D. (1991). *Planting design*. John Wiley & Sons.
- Weinstein, B., & Gridley, M. C. (2010). Visual perception of music. *Psychology Journal*, 7(3), 80-87.
- Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2013). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Seçkin yayıncılık.

## Parallel curves in Minkowski 3-space

### *3-boyutlu Minkowski uzayında paralel eğriler*

Nural YÜKSEL<sup>1,a</sup>, Burçin SALTİK<sup>2,b</sup>, Esra DAMAR<sup>\*3,c</sup>

<sup>1</sup>Department of Mathematics, Faculty of Science, Erciyes University, 38030, Kayseri

<sup>2</sup>Department of Mathematics, Faculty of Science, Erciyes University, 38030, Kayseri

<sup>3</sup> Motor Vehicles and Transportation Technologies Department, Vocational School Of Technical Sciences, Hitit University, 29000, Çorum

• Geliş tarihi / Received: 08.01.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 18.01.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 04.02.2022

#### Abstract

For a curve  $\alpha$  on the plane, there exists the curve  $\beta$  at a fixed distance  $r$  (except for some degenerate cases). The curve  $\beta$  can be alternatively produced as an envelope of circles with the radius  $r$  moving along the curve  $\alpha$ . As a result, when this structure is translated to three-dimensional space two parallel curves are obtained. In this study defining some time-like parallel curves on 3-dimensional Minkowski space, some important theorems about these are stated and proved.

**Keywords:** Minkowski 3-space, Parallel curves, Time-like curves

#### Öz

Düzlemdeki her  $\alpha$  eğrisi için belli bir  $r$  mesafesinde bulunan  $\beta$  eğrisi mevcuttur (bazı dejenere durumlar hariç).  $\beta$  eğrisi, merkezleri  $\alpha$  eğrisi boyunca hareket eden  $r$  yarıçaplı dairelerin zarfı olarak alternatif şekilde üretilebilir. Sonuç olarak bu yapı, üç boyutlu uzay üzerine taşınırsa iki paralel eğri elde edilir. Bu çalışmada 3-boyutlu Minkowski uzayında time-like paralel eğriler tanımlanarak bunlarla ilgili bazı önemli teoremler ifade ve ispat edildi.

**Anahtar kelimeler:** 3-boyutlu Minkowski uzayı, Paralel eğriler, Time-like eğriler

\*c Esra DAMAR; esradamar@hitit.edu.tr, Tel: (0555) 451 97 77, orcid.org/0000-0002-0743-8545

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0003-3360-5148

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-5174-6484

**1. Introduction**

*1. Giriş*

Generating parallel curves on parametric surfaces is an important issue in many industrial settings. The goal of a given initial curve (called a base curve or generator) on a parametric surface is to obtain curves on the surface that are parallel to the generator. Parallel curves mean the curves that are at a given distance from the generator and the distance is measured point by point along certain characteristic curves (on the surface) orthogonal to the generator. Computing these parallel curves is not so easy for ordinary situations, and they generally have computing difficulties. In fact, only partial, incomplete solutions have been reported so far in the literature. Gálvez et al. (2014) introduced a simple but efficient method to fill this gap. Compared with other techniques, the most important feature of their method is its generality: It can be successfully applied to any differentiable parametric surface and to any kind of characteristic curves on surfaces (Gálvez et al., 2014). Parallel curves in the Lorentz plane are defined by Karacan and Bukcu (2008) and they give the relations between the curvatures of these curves.

Chrastinová (2007) examined parallel curves in  $E^3$  for a curve on the plane. According to Chrastinova, there exist two curves as  $P_+$ ,  $P_-$  at a fixed distance  $r$  (except for some degenerate cases). The curves  $P_+$ ,  $P_-$  alternatively can be generated as an envelope of circles of with the radius  $r$  whose centers move along the curve  $P$ . This structure is translated to three-dimensional space and, eventually, two parallel curves are found as well. Keskin et al. (2016) have defined some classifications of parallel curves of adjoint. The Bishop equations of parallel curves are studied

$$\begin{bmatrix} T' \\ N' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \kappa & 0 \\ \kappa & 0 & \tau \\ 0 & -\tau & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T \\ N \\ B \end{bmatrix} \tag{1}$$

where  $\langle T, T \rangle = -1, \langle N, N \rangle = 1, \langle B, B \rangle = 1, \langle N, N \rangle = 1, \langle T, N \rangle = \langle N, B \rangle = \langle T, B \rangle = 0$ .

**Definition 2.1.** The Lorentz sphere with center  $a$  and the radius  $r \in \mathbb{R}$  in Minkowski 3-space  $E_1^3$  is defined by

$$S_1^2 = \{v \in E_1^3 : \langle v - a, v - a \rangle_L = r^2\} \text{ (Petrović-Torgašev \& Šućurović, 2001).}$$

according to Bishop frame in Euclidean 3-space is studied and a new characterization of the parallel curve is obtained by using Bishop frame in  $E^3$  in (Körpınar et al., 2013).

**2. Materials and methods**

*2. Materyal ve metot*

The Minkowski 3–space  $E_1^3$  is Euclidean 3–space  $E^3$  provided with the standard flat metric given by

$$\langle , \rangle_L = -dx_1 + dx_3 + dx_3$$

where  $(x_1, x_2, x_3)$  is a rectangular coordinate system of  $E_1^3$ . Since  $\langle , \rangle_L$  is an indefinite metric, recall that a vector  $v \in E_1^3$  can have one of three Lorentz causal characters: It can be space-like if  $\langle v, v \rangle_L > 0$  or  $v = 0$ , time-like if  $\langle v, v \rangle_L < 0$  and null (light-like) if  $\langle v, v \rangle_L = 0$  and  $v \neq 0$ . Similarly, an arbitrary curve  $\alpha = \alpha(s)$  in  $E_1^3$  can locally be space-like, time-like or null (light-like), if all of its velocity vectors  $\alpha'(s)$  are space-like, time-like or null (light-like) respectively (Kühnel, 2006; Ali & Lopez, 2011; Lopez, 2014).

Minkowski space is originally obtained from the relativity theory of physics. In fact, a time-like curve corresponds to the path of an observer moving at less than the speed of light. Denote with  $\{T, N, B\}$  the moving Frenet frame along the curve  $\alpha(s)$  in Minkowski space  $E_1^3$ . If  $\alpha$  is time-like curve, then the Frenet formula is given by

**Theorem 2.1.** Let  $\alpha(s)$  be a unit speed time-like curve given with curvature  $\kappa = \kappa(s)$  in  $E_1^3$ . Then the curve  $\alpha$  lies on the Lorentz sphere with center  $a$  and the radius  $r \in \mathbb{R}$  in  $E_1^3$  if and only if  $\kappa \neq 0$  is constant and

$$a(s) = \alpha(s) - m_2 N - m_3 B \text{ where } m_2 = -\frac{1}{\kappa}, m_3 = \pm \sqrt{r^2 - \frac{1}{\kappa^2}} \text{ (Petrović-Torgašev \& Šučurović, 2001).}$$

Let  $E^2$  be a 2-dimensional vector space and let  $u = (u_1, u_2), v = (v_1, v_2)$  be two vectors in  $E^2$ . The Lorentz scalar product of  $u$  and  $v$  is defined by  $\langle u, v \rangle_L = -u_1 v_1 + u_2 v_2$ .  $E_1^2 = (E^2, \langle \cdot, \cdot \rangle_L)$  is called Lorentz plane.

Let  $\alpha(s) = (\alpha_1(s), \alpha_2(s))$  be a smooth curve on the plane parameterized by the arc-length  $s$ . Then  $T_\alpha(s) = (\alpha'_1(s), \alpha'_2(s)), N_\alpha(s) = (\alpha'_2(s), \alpha'_1(s))$  are the unit tangent and the unit principal normal vector of the curve  $\alpha(s)$ . If  $T_\alpha$  is time-like and  $N_\alpha$  is space-like for the time-like curve  $\alpha$ , then the Frenet formula is given by

$$T' = \kappa N, \quad N' = \kappa T$$

where  $\kappa$  is a curvature of the curve  $\alpha$  (Ikawa, 2003).

**Definition 2.2.** Let  $\alpha(s)$  be a plane curve in  $E_1^2$

$$\beta(s^*) = \alpha(s) + r N_\alpha(s), \quad s^* = s^*(s) \tag{2}$$

where  $N_\alpha$  is the unit principal normal vector of  $\alpha$  and  $s^*$  denotes the arc-length along  $\beta$  at a distance  $r$ . The curve  $\beta$  is called a parallel curve with  $\alpha$  (Karacan & Bükçü, 2008).

Using the Frenet formula, one can verify the differential equation

$$\frac{ds^*}{ds} = 1 + r\kappa$$

to determine the arc-length  $s^*$ , where  $\kappa = \kappa(s)$  is a curvature of  $\alpha$ . We exclude the points at which  $1 + r\kappa = 0$ . This construction is not useful in three dimensions, but equation (2) can be alternatively obtained as follows. For all points of  $\alpha(s)$ , we can consider the circle of all points of the curve  $\beta$  such that

$$\langle \alpha(s) - \beta, \alpha(s) - \beta \rangle_L = r^2.$$

Then, the envelope of such circles is the locus of all points of the curve  $\beta$  that satisfy the conditions

$$\langle \alpha(s) - \beta, \alpha(s) - \beta \rangle_L = r^2 \tag{3}$$

$$\langle T_\alpha(s), \alpha(s) - \beta \rangle_L = 0 \tag{4}$$

However, equation (4) clearly implies  $\beta - \alpha(s) = CN_\alpha(s)$  (a multiple of the unit principal normal vector) and then, equation (3) exactly yields equation (2). The alternative construction makes good sense in three dimensions.

**3. Results**

*3. Bulgular*

**Definition 3.1.** Let  $p = p(s) = (p_1(s), p_2(s), p_3(s))$  be a time-like curve parameterized by the arc-length  $s$  in  $E_1^3$ . If three equations hold for the curve  $p$  as follows:

$$\langle p(s) - P, p(s) - P \rangle_L = r^2, \tag{5}$$

$$\langle T_p(s), p(s) - P \rangle_L = 0, \tag{6}$$

$$\langle T'_p(s), p(s) - P \rangle_L + \langle T_p(s), T_p(s) \rangle_L = 0, \tag{7}$$

then  $p$  is called a time-like parallel curve with the point  $P$  in  $E_1^3$ . Explicit formula for the point  $P$  depending on the parameter  $s$  is obtained using the Frenet formula (1)

$$p' = T_p, \quad T'_p = \kappa N_p, \quad N'_p = \kappa T_p + \tau B_p, \quad B'_p = -\tau N_p \tag{8}$$

where  $T_p, N_p, B_p$  are the unit tangent, the unit principal normal and the unit binormal vector of the curve  $p$ , respectively. Then equation (6) with  $p' = T_p$  implies

$$p(s) - P = m_2 N_p + m_3 B_p \tag{9}$$

for appropriate coefficients  $m_2, m_3$ . Substituting this formula in equation (7) with  $p'' = \kappa N_p, \langle T_p(s), T_p(s) \rangle_L = -1$  we get  $m_2 \kappa - 1 = 0$ . Moreover  $m_2^2 + m_3^2 = r^2$  follows from equation (5) and then we

get  $m_3 = \pm \sqrt{r^2 - \frac{1}{\kappa^2}}$ . In total

$$P = p(s) - \frac{1}{\kappa} N_p \pm \sqrt{r^2 - \frac{1}{\kappa^2}} B_p \tag{10}$$

where  $N_p = N_p(s), B_p = B_p(s), \kappa = \kappa(s)$  can be calculated from the Frenet formula. We also obtain the arc-length  $s^*$  of the curve  $P$ . It is given by the differential equation

$$\frac{ds^*}{ds} = \sqrt{(m_3 \tau - m'_2)^2 + (m'_3 + m_2 \tau)^2}$$

where  $\tau = \tau(s)$  is a torsion of the curve  $p$  and  $m_2 = m_2(s), m_3 = m_3(s)$  are the functions mentioned before. In general, we have parallel curve  $P$  at a distance  $r$  from a given time-like curve  $p \in E_1^3$ .

**Theorem 3.1.** Let  $p$  be a time-like curve with arc-length  $s$  in  $E_1^3$  and conversely parallel to the curve  $P$  at a distance  $r$ . Then, the curves  $p, P$  can be exchanged.

**Proof.** Assume that the curves  $p(s), P(s^*)$  are parameterized by the arc-lengths  $s, s^*$  respectively, and  $P(s^*)$  is parallel to  $p(s)$ . Then, the equations (5), (6), (7) hold for the curves  $p$  and  $P$ , and we can write the following equations



$$\langle p(s) - P(s^*), p(s) - P(s^*) \rangle_L = r^2$$

whence

$$\langle T_p(s), p(s) - P(s^*) \rangle_L - \frac{ds^*}{ds} \langle T_p(s^*), p(s) - P(s^*) \rangle_L = 0$$

and therefore

$$\langle T_p(s^*), p(s) - P(s^*) \rangle_L = 0 \tag{11}$$

by using equation (6). Analogously equation (7) holds

$$\langle T_p(s), p(s) - P(s^*) \rangle_L = 0$$

from which it follows that

$$\kappa \langle N_p(s), p(s) - P(s^*) \rangle_L - 1 - \frac{ds^*}{ds} \langle T_p(s), T_p(s^*) \rangle_L = 0$$

and therefore

$$\langle T_p(s), T_p(s^*) \rangle_L = 0 \tag{12}$$

identical by using equation (7). On the other hand, by differentiating with respect to  $s$  equation (11)

$$\frac{ds^*}{ds} \langle T_p'(s^*), p(s) - P(s^*) \rangle_L + \langle T_p(s^*), T_p(s) \rangle_L - \frac{ds^*}{ds} \langle T_p(s^*), T_p(s^*) \rangle_L = 0$$

we get

$$\langle T_p'(s), p(s) - P(s^*) \rangle_L - \langle T_p(s^*), T_p(s^*) \rangle_L = 0$$

by applying equation (12). Altogether we have obtained formula

$$\langle P(s^*) - p(s), P(s^*) - p(s) \rangle_L = r^2 \tag{13}$$

$$\langle T_p(s^*), P(s^*) - p(s) \rangle_L = 0 \tag{14}$$

$$\langle T_p'(s^*), P(s^*) - p(s) \rangle_L + \langle T_p(s^*), T_p(s^*) \rangle_L = 0$$

identical to equations (5), (6) and (7) after replacing the curves  $p(s)$  and  $P(s^*)$ .

**Theorem 3.2.** Let  $p = p(s)$  be a time-like curve in  $E_1^3$ . The curves  $\mathcal{P}_\pm$  conversely determines the primary curve  $p$ .

**Proof.** Assume that  $p$  is a time-like curve in  $E_1^3$  and given the parallel curve  $P = P(s)$  at a distance  $r$ . Then, the equations as below hold

$$\begin{aligned} \langle p(s) - P, p(s) - P \rangle_L &= r^2 \\ \langle T, p(s) - P \rangle_L &= 0 \\ \langle T'(s), p(s) - P \rangle_L + \langle T, T \rangle_L &= 0 \end{aligned} \tag{15}$$

where  $\{T, N, B\}$  are Frenet vectors of the curve  $p$ . From equation (9) we can write

$$P = p + m_2 N + m_3 B \tag{16}$$

which are  $m_2 = \frac{1}{\kappa}$  and  $m_3 = \pm \sqrt{r^2 - \frac{1}{\kappa^2}}$ . It can be obtained equations (17) and (18) by taking derivative of equation (16) with respect to  $s$

$$\dot{P} = (-m_2' + \tau m_3)N + (-m_3' - \tau m_2)B, \tag{17}$$

$$\ddot{P} = (-m_2' + \tau m_3)\kappa T + ((-m_2' + \tau m_3)') - \tau(-m_3' - \tau m_2)N + ((-m_3' - \tau m_2)' + \tau(-m_2' + \tau m_3))B. \tag{18}$$

Assume that  $\mathcal{P} = P + aT + bN + cB$ , substitution in equation (15) yields the system

$$\begin{aligned} r^2 &= -a^2 + b^2 + c^2, \\ 0 &= (-m_2' + \tau m_3)b + (-m_3' - \tau m_2)c, \\ 0 &= a\kappa(-m_2' + \tau m_3) - b((-m_2' + \tau m_3)' - \tau(-m_3' - \tau m_2)) - c((-m_3' - \tau m_2)' + \tau(-m_2' + \tau m_3)) \\ &\quad + (-m_2' + \tau m_3)^2 + (-m_3' - \tau m_2)^2 \end{aligned} \tag{19}$$

and one can verify that  $a = 0, b = m_2$  and  $c = m_3$  is a solution. This provides the curve  $\mathcal{P} = p$ . Another solution of equation (19) can be obtained by substituting  $b = \alpha m_2, c = \alpha m_3$ . Then, equation (19) turns into a system of two equations

$$\alpha^2 - \left(\frac{a}{r}\right)^2 = 1, \tag{20}$$

$$a\kappa(-m_2' + \tau m_3) + (1 - \alpha)\left((m_2' - \tau m_3)^2 + (m_3' + \tau m_2)^2\right) = 0 \tag{21}$$

for the unknown functions  $\alpha$  and  $a$ , the intersection of a hyperbola with a straight line. There are two points of intersection. We already know the point  $a = 0, \alpha = 1$ . If equations (20) and (21) are solved for the remaining result is given by

$$\alpha = \frac{\kappa^2(-m_2' + \tau m_3)^2 + \left(\left(m_2' - \tau m_3\right)^2 + \left(m_3' + \tau m_2\right)^2\right)^2}{\left(\left(m_2' - \tau m_3\right)^2 + \left(m_3' + \tau m_2\right)^2\right)^2 - \kappa^2(-m_2' + \tau m_3)^2},$$

$$a = \frac{2\kappa(-m_2^1 + \tau m_3) \left( (m_2^1 - \tau m_3)^2 + (m_3^1 + \tau m_2)^2 \right)}{\left( (m_2^1 - \tau m_3)^2 + (m_3^1 + \tau m_2)^2 \right)^2 - \kappa^2(-m_2^1 + \tau m_3)^2}.$$

**4. Conclusion**

*4. Sonuç*

The definition of a parallel curve defined in the Euclidean 3-space but not in Minkowski 3- space is given. The arc-length of this curve is expressed in terms of curvature and torsion using appropriate functions. Later it was shown that p and P curves can be substituted. In the last theorem, we obtain that other curves  $\mathcal{P}_\pm$  parallel to two parallel P and p curves, p is primitive time-like curve.

**Author contribution**

*Yazar katkısı*

All authors contributed to the manuscript equally. All authors have read and approved the final manuscript.

**Declaration of ethical code**

*Etik beyanı*

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

**Conflicts of interest**

*Çıkar çatışması beyanı*

The authors declare no conflict of interest.

**References**

*Kaynaklar*

Ali, A. T., & Lopez, R. (2011). Slant helices in Minkowski space  $E_1^3$ . *Journal of the Korean Mathematical Society*, 48(1), 159–167. <https://doi.org/10.4134/jkms.2011.48.1.159>

Chrastinová, V. (2007). *Parallel helices in three-dimensional space*. Sborník 5. Konference o matematice a fyzice.

Gálvez, A., Iglesias, A., & Puig-Pey, J. (2014). Computing parallel curves on parametric surfaces. *Applied Mathematical Modelling*, 38(9–10), 2398–2413. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.10.042>

Ikawa, T. (2003). Euler - Savary’s formula on Minkowski geometry. *Balkan Journal of Geometry and Its Applications*, 8(2), 31–36.

Karacan, M. K., & Bükçü, B. (2008). Parallel (offset) curves in Lorentzian plane. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(1–2), 334–345.

Keskin, Ö., Yüksel, N., Karacan, M. K., & İkiz, H. (2016). Characterization of the parallel curve of the adjoint curve in  $E^3$ . *General Mathematics Notes*, 35(1), 9–18.

Körpınar, T., Asil, V., Sarıaydin, M. T., & İncesu, M. (2013). A characterization for Bishop equations of parallel curves according to Bishop frame in  $E^3$ . *Boletim Da Sociedade Paranaense de Matemática*, 33(1), 33. <https://doi.org/10.5269/bspm.v33i1.21712>

Kühnel, W. (2006). *Differential geometry: Curves, surfaces, manifolds*. American Mathematical Society.

López, R. (2014). Differential geometry of curves and surfaces in Lorentz-Minkowski space. *International Electronic Journal of Geometry*, 7(1), 44–107. <https://doi.org/10.36890/iejg.594497>

Petrović-Torgašev, M., & Šučurović, E. (2001). Some characterizations of the Lorentzian spherical timelike and null curves. *Matematički Vesnik*, 53, 21–27.

## Monitoring burn severity and air pollutants in wildfire events using remote sensing data: the case of Mersin wildfires in summer 2021

*Uzaktan algılama verileri ile orman yangınlarında yanma şiddetinin ve hava kirleticilerinin izlenmesi: 2021 yazı Mersin orman yangınları örneği*

Muzaffer Can İBAN\*<sup>1,a</sup>, Ezgi ŞAHİN<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33343, Mersin

<sup>2</sup>Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Programı, 33343, Mersin

• Geliş tarihi / Received: 12.10.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 31.01.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 08.02.2022

### Abstract

Remotely sensed data have been used to investigate air pollutants and matter toxicity, land cover changes and burn severity. The goal of this study is to analyze land and atmospheric data for wildfire events that occurred in Mersin Province between July 28 and August 3, 2021. We used a variety of open-access remotely sensed data sets (MODIS, Sentinel 2A and Sentinel 5P TROPOMI) from the pre-fire (20-27 July), fire (28 July – 3 August), and post-fire period (4-10 August). This comprehensive study's findings can be divided into two categories. The first group is the land cover output, which includes maps of the affected region's land surface temperature and burn severity, as well as comparisons of the two. The atmospheric output, which consists of trace gas column density maps (for carbon monoxide, formaldehyde, sulphur dioxide and ozone), is the second group. The quantitative results of these analyses indicate that high severity areas correspond to 16.536 hectares, and the maximum column number density reached to 0.071 mol/m<sup>2</sup> for carbon monoxide, 0.0043 mol/m<sup>2</sup> for formaldehyde, 0.00049 mol/m<sup>2</sup> for sulphure dioxide and 0.137 mol/m<sup>2</sup> for ozone. The burn severity is found to be highly correlated with land surface temperatures. Pollutant levels in the atmosphere were found to be rising during and after the wildfire. There has not been any evidence of a significant increase in air pollutants near urban areas. However, ozone concentrations rose significantly after the wildfire because the province's nitrogen oxide levels were high enough to produce ozone.

**Keywords:** Air pollutants, Burn severity index, Land surface temperature, Sentinel-5P, Wildfires

### Öz

Hava kirleticilerini, madde zehirliliğini, arazi örtüsü değişimini ve yanma şiddetini izlemek için uzaktan algılama verilerinden faydalanan çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Mersin İli'nde 28 Temmuz – 3 Ağustos 2021 tarihleri arasında gerçekleşen orman yangınları sonucunda gözlemlenen arazi örtüsü ve atmosfer verilerini analiz etmektir. Yangın öncesi (20-27 Temmuz), yangın (28 Temmuz-3 Ağustos) ve yangın sonrası (4-10 Ağustos) dönemleri için çeşitli açık erişimli uzaktan algılama verileri (MODIS, Sentinel 2A ve Sentinel 5P) kullanılan bu çalışmanın bulguları iki kategoride belirtilebilir. İlk kategori, etkilenen bölgenin arazi yüzey sıcaklığı ve yanık şiddeti haritalarının hazırlanmasını ve bunların arasındaki ilişkinin karşılaştırılmasını içermektedir. İkinci kategori ise, kirletici gazların (karbon monoksit, formaldehit, sülfür dioksit ve ozon) düşey yoğunluk haritalarını içeren atmosferik çıktılardır. Bu analizlerin nicel sonuçları, yüksek şiddetli yanma alanlarının 16.536 hektara karşılık geldiğini ve maksimum düşey molekül yoğunluğunun karbon monoksit için 0.071 mol/m<sup>2</sup>, formaldehit için 0.0043 mol/m<sup>2</sup>, kükürt dioksit için 0.00049 mol/m<sup>2</sup> ve ozon için 0.137 mol/m<sup>2</sup>'ye ulaştığını göstermektedir. Yanma şiddetinin, arazi yüzey sıcaklıkları ile yüksek oranda ilişkili olduğu saptanmıştır. Orman yangını sırasında ve sonrasında atmosferdeki kirletici seviyelerinin yükseldiğini tespit eden bu çalışma, kentsel alanların yakınında hava kirleticilerinde önemli bir artış olduğuna dair herhangi bir kanıt bulamamıştır. Ancak, ozon gazı yoğunluğunun orman yangınından sonra, il genelindeki yüksek nitrojen oksit seviyesine bağlı olarak önemli ölçüde yükseliş gösterdiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hava kirleticileri, Yanma şiddeti endeksi, Arazi yüzeyi sıcaklığı, Sentinel-5P, Orman yangınları

\*a Muzaffer Can İBAN; caniban@mersin.edu.tr, Tel: (0324) 361 00 01, orcid.org/0000-0002-3341-1338

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-7455- 8141

## 1. Introduction

### 1. Giriş

Wildfires have taken the great attention of scholars due to their dire consequences on forests and sustainable land use, especially in the Mediterranean countries. Wildfires, in simple terms, destroy the vegetated land cover and diminish the amount of fertile land because of land erosion and loss of fundamental nutrients in the ecosystem (Fernández et al., 2007; Magro et al., 2021). In terms of land management and public administration, the wildfires create a huge risk for peri-urban settlements and houses are important assets to prevent the devastating effects of wildfires. Policymakers must recognize that global warming has a direct impact on fire severity, and they must take steps to reduce the risks of future wildfires. (Lindenmayer et al., 2020).

Turkey is one of the Mediterranean countries afflicted by destructive wildfires. Turkey faced the worst and most devastating wildfires in its history in July and August 2021. This series of wildfires was particularly effective on the southern coasts (Muğla, Antalya, and Mersin provinces), and it is estimated that 170,000 hectares of rural lands were exposed to wildfires during this period (Fu, 2022). The start of wildfires coincides with the region's high-temperature records.

Several studies have been conducted using remote sensing products to investigate the post-disaster effects of wildfires. Examples include atmospheric studies on air pollutants and matter toxicity (Langmann et al., 2009; Wu et al., 2006) or land cover changes (Chuvienco & Congalton, 1989; Eva & Lambin, 2000) and burn severity (Cocke et al., 2005; Keeley, 2009). Researchers can use remote sensing data to detect changes in vegetation after wildfires, as well as monitor the area affected by wildfires and the ecosystem dynamics when the affected area regenerates. Spectral indices (for example, Normalized Difference Vegetation Index – NDVI or Normalized Burn Ratio – NBR) aid in tracking the severity of wildfires as well as the rate of vegetation enhancement in affected areas. Scholars have used these indices for previous wildfires in Kahramanmaraş (Dindaroglu et al., 2021), İzmir (Çolak & Sunar, 2020; Nasery & Kalkan, 2020; Sabuncu & Özener, 2019) and Mersin provinces (Tonbul et al., 2016). All of these studies contributed important findings to the existing body of literature on land management and disaster recovery. Using remotely sensed data sets, however, atmospheric trends of carbon dioxide, sulphur dioxide, formaldehyde, and ozone from

wildfires were tracked for Portugal (Magro et al., 2021), Ukraine (Savenets et al., 2020), California (Schneising et al., 2020) and Canada (Alvarado et al., 2020). These case studies provided compelling evidence for the use of remote sensing to track the spatial and temporal patterns of atmospheric trace gases in the aftermath of a major wildfire. A preliminary air quality assessment of recent wildfires in Turkey was conducted for the provinces of Antalya and Muğla, revealing that the wildfires this season have significantly reduced air quality in the region (Salman et al., 2021).

There are not too many case studies in the literature that cover both fire severity and atmospheric trace gas tracking simultaneously. The objective of this research is to conduct a combination of land and atmospheric data analysis for wildfire events that occurred in Mersin Province between July 28 and August 3, 2021. To do so, we used a variety of open-access remotely sensed data sets from the pre-fire (20-27 July), fire (28 July – 3 August), and post-fire periods (4-10 August). Section 2 introduces the site description and data sets used. As shown in Section 3, the findings of this comprehensive study can be divided into two categories. The first group is the land cover output, which includes the affected region's land surface temperature and burn severity maps, as well as their comparison. The second group is the atmospheric output, which consists of trace gas column density maps. All of the maps were created to understand the individual or inter-dependent dynamics of trace gases during the extreme wildfire event in Mersin Province.

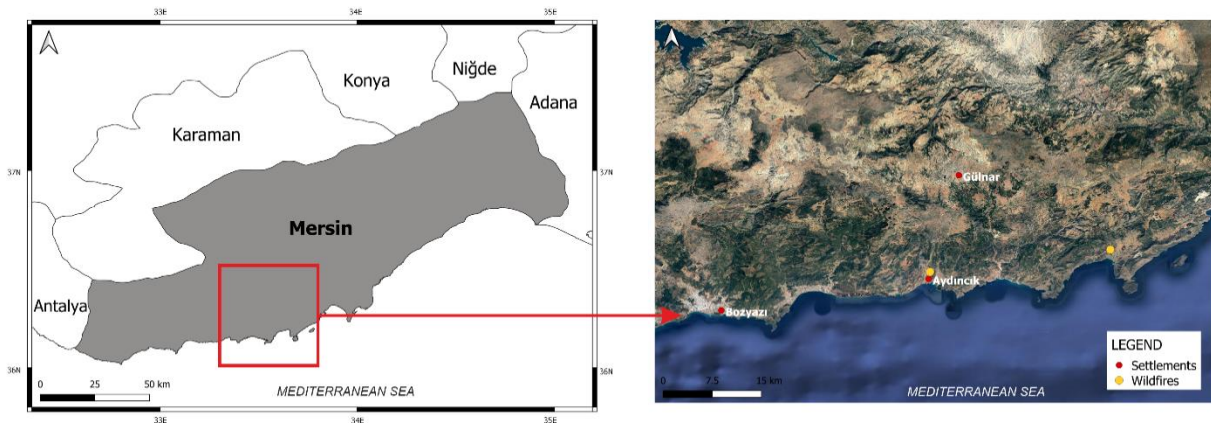
## 2. Materials and methods

### 2. Materyaller ve metotlar

#### 2.1. Site description

##### 2.1. Çalışma alanı

This study was carried out in Mersin Province (Figure 1), with a particular focus on Aydıncık district and Yeşilovacık villages in the province's western part. Mersin Province is located on the Mediterranean coast in southern Turkey. The district of Aydıncık is an urban settlement (circa 11 thousand inhabitants); however, other nearby urban areas to the wildfire zone are the districts of Silifke (circa 125 thousand inhabitants) and Gülnar (circa 20 thousand inhabitants). The study area includes maquis, garrigue (sage, rosemary, thyme, lavender), and sandy areas near the seashore. *Pinus brutia* is a dominant tree species in the monitored area's forests.



**Figure 1.** Study area with a focus on affected zone

**Şekil 1.** Etkilenen alana odaklı çalışma sahası

## 2.2. Land data sets

### 2.2. Arazi veri setleri

#### 2.2.1. Land surface temperature

##### 2.2.1. Arazi yüzeyi sıcaklığı

Land Surface Temperature (LST) is an important component of the physical Earth because it allows us to understand the energy interactions between the atmosphere and land. The LST data set has been used in a variety of studies, including climate change, hydrology, and ecological assessment (Bao et al., 2011). The MOD11A1 LST product from the Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) instrument, with a spatial resolution of 1 km and a temperature resolution of 0.02 Kelvin, is one of the resources for retrieving LST images. Each LST image is created by analyzing the emitted thermal-infrared radiance values in two spectral bands (11.00 and 12.02  $\mu\text{m}$ ) (Imhoff et al., 2010). This image processing employs a radiance-based split-window algorithm, which allows us to compute the relationship between radiance and temperature using a radiative transfer function (Wang et al., 2019). When compared to in-situ measurements, the MOD11A1 LST product has a positional accuracy of 50 meters and a temperature accuracy of less than 0.5 Kelvin (Wolfe et al., 2002). MOD11A1 signals cannot penetrate clouds; thus, LST images can be retrieved as long as the sky is clear and the temperature radiance of the top of the clouds is not mixed with the land surface. Another advantage of MOD11A1 products is that due to MODIS' ascending and descending orbits, LST images can be retrieved both during the day and at night. (Wan et al., 2004).

In this study, LST images obtained at night from the MOD11A1 product were examined for pre-fire, fire, and post-fire periods in order to detect the

magnitude of temperature rise on bare land surface caused by recent wildfires. Google Earth Engine (GEE) was used to download the LST image composites for three different time periods. The GEE platform includes algorithms for creating composite images for specific time periods; as a result, GEE allows for faster image acquisition rather than downloading single image files from NASA servers (Ebrahimi et al., 2021). LST images for the daytime were excluded from this study because the study area is extremely hot in the summer, and variations in LST cannot be detected because the hot weather warms the land surface significantly.

#### 2.2.2. Burn area detection and burn severity

##### 2.2.2. Yanmış alan tespiti ve yanma şiddeti

Remotely sensed data sets are pioneer tools for monitoring, analyzing, and administering burnt forests on a global or regional scale, as they enable rapid monitoring over burnt areas for mitigating post-fire effects (Llorens et al., 2021). In comparison to manual delineation or in-situ observations, remote sensing approaches have provided higher accuracies for detecting the burnt area. Furthermore, researchers can characterize burn severity patterns using remote sensing techniques (Fassnacht et al., 2021).

Burn severity, by definition, corresponds to the long-term land cover and ecological changes of an affected area and allows for the measurement of the landscape's responses after a wildfire. Tree mortality, vegetation enhancement, and recolonization are examples of these responses (Cansler & McKenzie, 2012; Keeley, 2009). An index known as the differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) has become a popular method for determining burn severity. By combining the near infrared (NIR) and shortwave infrared (SWIR)

wavelengths of any multispectral sensor, it highlights the burned lands. Healthy vegetation has significantly higher reflectance values in NIR portion of the electromagnetic spectrum, while it has lower reflectance in the SWIR. The areas devastated by a wildfire, on the other hand, exhibit the inverse trend. As a result, the difference in spectral differences between healthy and burned landscapes reaches the top in both the NIR and SWIR portions. (Diaz-Delgado et al., 2003).

In this study, we computed dNBR using Sentinel-2 Level-2A composite images with a spatial resolution of 20 meters derived from GEE. Atmospherically corrected surface reflectance is shown in Level-2A images; thus, there was no need for atmospheric correction. The pre-fire image composite is made up of cloudless image tiles in between May 1 and July 27, while the post-fire image composite is made up with image tiles between July 28 and October 1. We calculated dNBR on GEE with the following equations, using Band 8A (NIR – 864.8 nm) and Band 12 (SWIR – 2202.4 nm).

$$NBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR) \quad (1)$$

$$dNBR = NBR_{pre-fire} - NBR_{post-fire} \quad (2)$$

where dNBR is computed using the Normalized Burn Ratios (NBR) of pre-fire and post-fire composite images. The greater the value of dNBR, the more severe the damage in the affected area. These damages are classified using pre-defined intervals proposed by the USGS (Key & Benson, 2006), as seen in Table 1. Sub-zero dNBR values correspond to increased vegetation regrowth in the affected area.

**Table 1.** Severity intervals used in dNBR analysis  
*Tablo 1. dNBR analizinde kullanılan şiddet aralıkları*

Severity Level	dNBR Range
Enhanced Regrowth, high (post-fire)	-0.500 to -0.251
Enhanced Regrowth, low (post-fire)	-0.250 to -0.101
Unburned	-0.100 to +0.99
Low Severity	+0.100 to +0.269
Moderate-low Severity	+0.270 to +0.439
Moderate-high Severity	+0.440 to +0.659
High Severity	+0.660 to +1.300

### 2.3. Air pollutants data sets

#### 2.3. Hava kirleticileri veri setleri

Wildfires produce a large amount of trace gases, which have a significant impact on the chemical composition of the atmosphere and climate.

Because of wood combustion, wildfire smoke emits a variety of pollutants, including carbon monoxide (CO), formaldehyde (HCHO), and sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) (Magro et al., 2021). Furthermore, wildfires produce tropospheric ozone (O<sub>3</sub>), which has a negative impact on ecosystems; thus, it is important to monitor O<sub>3</sub> levels after a wildfire.

CO is a colorless, odorless, and tasteless chemical gas that degrades atmospheric air quality. It has the potential to cause serious health problems when inhaled by living species because it can disrupt the transport of oxygen through the veins (Omaye, 2002). Smoke from wildfires may reach human settlements, prompting health officials to advise residents to stay indoors. This smoke evidently contains CO, which is produced by the incomplete combustion of burning biomass materials in wildfire areas. Several remote sensing instruments were used by the researchers to monitor CO. (Schneising et al., 2020). Formaldehyde (HCHO) is one of the most common non-methane volatile organic compounds emitted by wildfires. This aldehyde's emission varies with carbon emissions depending on fuel type and combustion efficiency; thus, HCHO is more available in smoldering wildfires. (Liu et al., 2017). HCHO is known to be a respiratory carcinogen, and excessive HCHO exposure significantly increases the risk of asthma and cancer (National Toxicology Program, 2010). According to some research, wildfires emit higher HCHO concentrations than normal conditions; thus, it is critical to monitor HCHO levels in the atmosphere during and after a devastating wildfire (Na & Cocker, 2008). Sulphur naturally occurs in nature, but when it comes into contact with combustible conditions, it transforms into sulphuric acid and sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) in the air. Acid rain is caused by sulphuric acid. SO<sub>2</sub> concentrations above a certain threshold cause respiratory and cardiovascular diseases in living organisms. (Aryal et al., 2018). Sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>), one of the pollutants in wildfire smoke, is particularly toxic to plants in close proximity to wildfires, causing protein degradation and cell death (Weber et al., 2021). Because SO<sub>2</sub> dispersion is highly dependent on wind speed and direction; the SO<sub>2</sub> maps must be compared to meteorological data. O<sub>3</sub> is well-known as a second-level air pollutant that causes a variety of respiratory diseases. O<sub>3</sub> is formed by the chemical interaction of nitrogen oxides and organic carbons in the presence of sunlight. Wildfires also emit significant amounts of O<sub>3</sub> precursors, and the ratios increase downwind of a wildfire (Watson et al., 2019). O<sub>3</sub> production is highly correlated with the

amount of nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ); in other words, when  $\text{NO}_x$  levels are high,  $\text{O}_3$  production may decrease. (McClure & Jaffe, 2018).

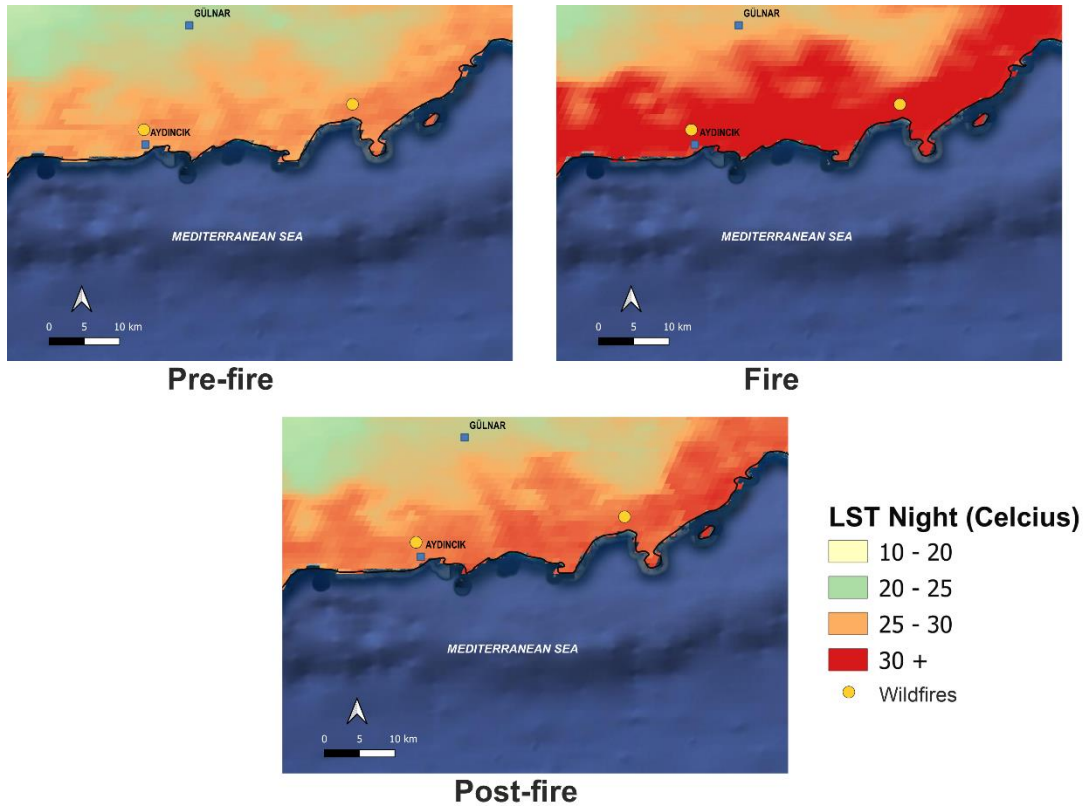
In this study, we used column number density data of CO, HCHO,  $\text{SO}_2$ , and  $\text{O}_3$  at ground level from the TROPospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) on the European Space Agency's Sentinel-5 Precursor (S5P) satellite. Many scholars have used and recommended TROPOMI data for air pollution monitoring (Kaplan & Yigit Avdan, 2020). S5P measures CO global abundance using clear-sky and cloudy-sky Earth radiance measurements in the 2.3  $\mu\text{m}$  spectral range of the solar spectrum's shortwave infrared (SWIR). TROPOMI, which provides excellent  $\text{SO}_2$  and HCHO images with a low signal-to-noise ratio, can be used to observe tropospheric  $\text{SO}_2$  and HCHO column number density. TROPOMI also provides

offline  $\text{O}_3$  images via the GODFIT algorithm. The spatial resolution of all of the data sets provided is 1113.2 meters. (TROPOMI, 2021).

### 3. Results and discussion

#### 3. Bulgular ve tartışma

Figure 2 shows LST images at night derived from the MOD11A1 product. Pre-fire, fire, and post-fire LST composite maps were created separately. Temperature differences between periods are significant, and the spatial variability of LST can be visually distinguished between burnt and unburnt zones. The mean LST in burnt areas during the pre-fire period was 24.1 °C, 32.9 °C during the fire period, and 29.8 °C in the post-fire period, according to numerical results derived from pixel values.



**Figure 2.** Pre-fire, fire, and post-fire LST maps for the affected zone

**Şekil 2.** Etkilenen bölgenin yangın öncesi, yangın esnasında ve yangın sonrası LST haritaları

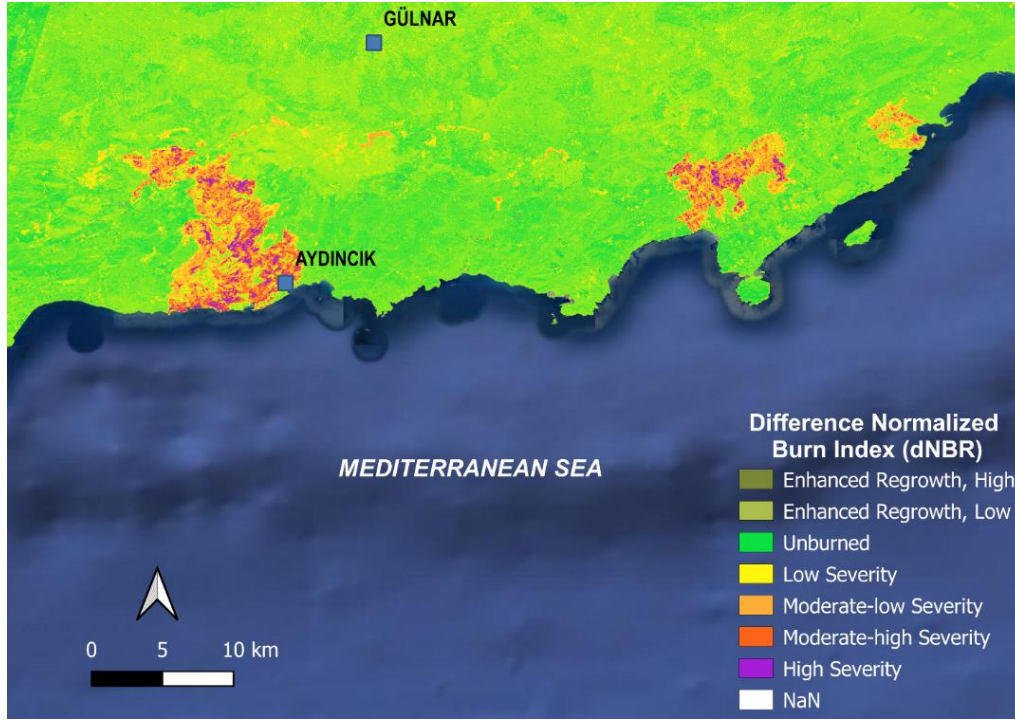
Figure 3 depicts a dNBR-based burn severity map generated for the affected zone. The affected zone has low severity areas of 190.812 hectares, moderate-low severity areas of 163.42 hectares, moderate-high severity areas of 88.792 hectares, and high severity areas of 16.536 hectares, according to pixel statistics computed in QGIS raster processing toolbox.

Several studies have discovered a relationship between post-fire LST and burn severity maps derived from satellite imagery (Çolak & Sunar, 2020). As a result, we investigated the relationship between dNBR values and LST values of stratified sampled 83 pixels on the affected zone. The second order polynomial regression plots in Figure 4 show a strong positive correlation between dNBR values and LST values of both the fire (Pearson's

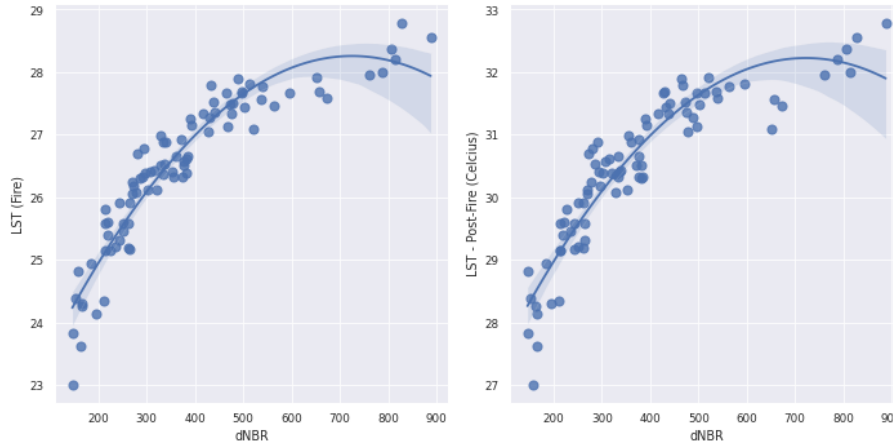


Correlation Coefficient = 0.870) and post-fire periods (Pearson's Correlation Coefficient = 0.856), which supports the findings of previous studies. In other words, the higher the land temperature in our study area, the more severe the

burn severity of the vegetation exposed to. Because our post-fire image composite spans the period until October 2021, we can conclude that there has been no enhanced regrowth of vegetation in the affected zone thus far.



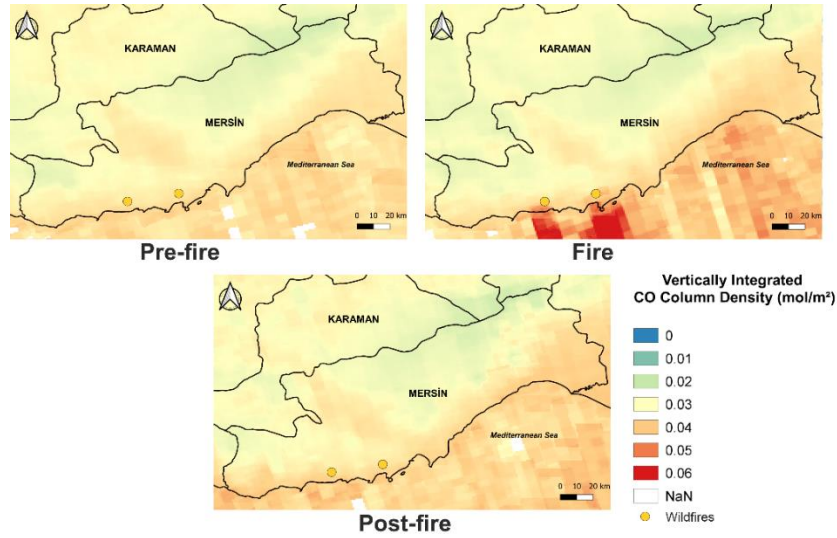
**Figure 3.** Burn severity map based on dNBR generated from Sentinel-2 data  
**Şekil 3.** Sentinel-2 verisinden üretilmiş dNBR temelli yanma şiddeti haritası



**Figure 4.** Regression lines between LST and dNBR values  
**Şekil 4.** LST ve dNBR değerleri arasındaki regresyon çizgileri

For the pre-fire, fire, and post-fire periods, vertically integrated CO column density maps were created. As illustrated in Figure 5, CO gases travel downwind to the Mediterranean Sea. Despite the fact that CO levels in most pixels near the affected zone reached 0.05 mol/m<sup>2</sup>, the CO gas did not move into urban areas and did not cause significant air pollution in the zone. Because the gas died

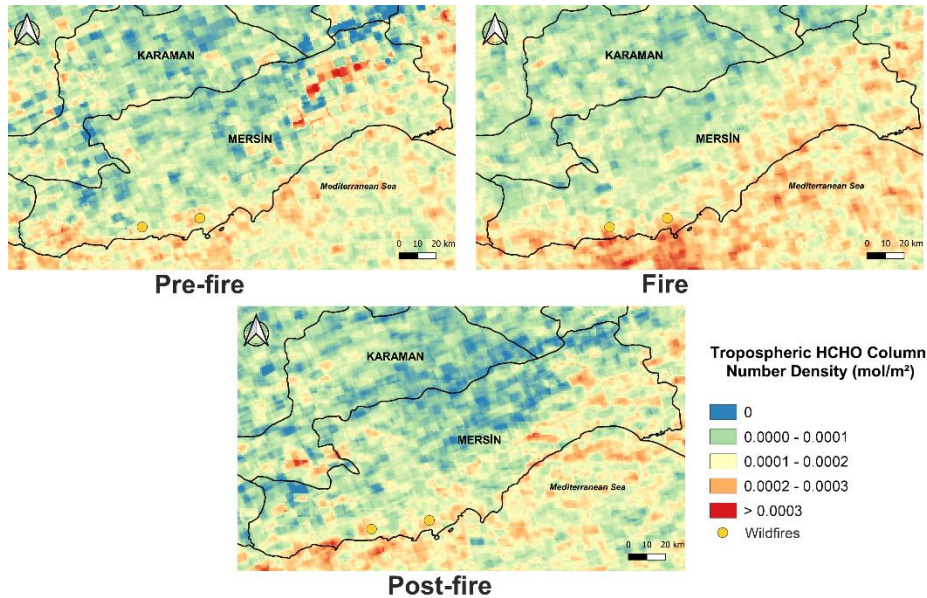
above the sea, the post-fire concentrations are the same as they were before the fire. CO concentrations have a daily average of 0.039 mol/m<sup>2</sup> during the post-fire period, which is very close to pre-fire concentrations (0.035 mol/m<sup>2</sup>). During the fire, CO concentrations averaged 0.058 mol/m<sup>2</sup> on a daily basis, peaking at 0.071 mol/m<sup>2</sup> on July 29 near Aydıncık Coast.



**Figure 5.** Pre-fire, fire, and post-fire CO maps for Mersin province  
**Şekil 5.** Mersin ili yangın öncesi, yangın esnasında ve yangın sonrası CO haritaları

Tropospheric HCHO column number density maps for the pre-fire, fire, and post-fire periods were also created. Figure 6 shows that Mersin Province has a significant amount of high concentrations of HCHO, particularly in industrial areas. The wildfires, on the other hand, released a significant amount of HCHO in the downwind direction towards the sea. During the fire, the daily

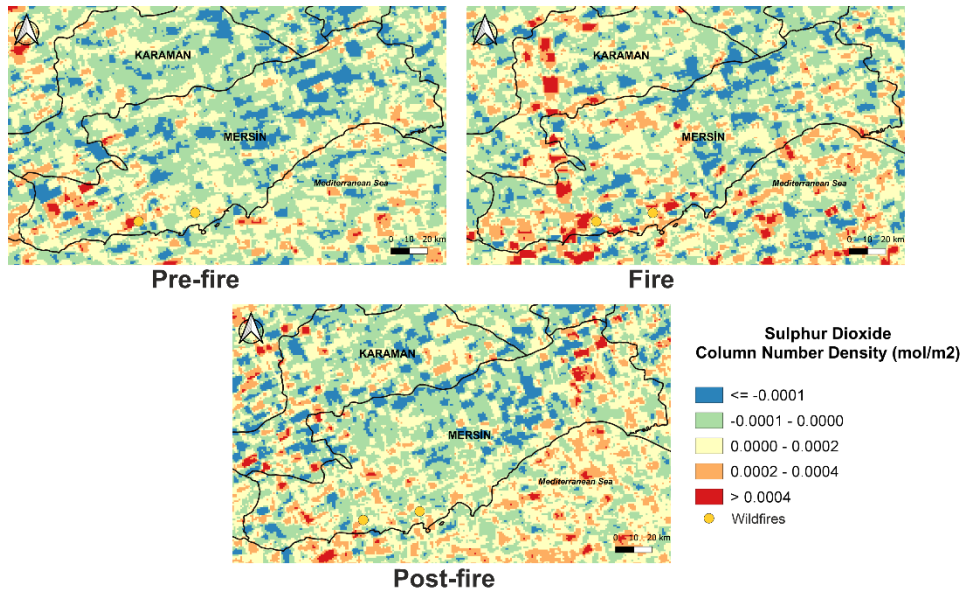
maximum level of HCHO on the coast of Yeşilovacık village reached  $0.0043 \text{ mol/m}^2$  on July 30. Following the wildfire, the HCHO particles followed the wind direction to the west, and there were still high levels of HCHO concentrations ( $0.0031 \text{ mol/m}^2$ ) in the western part of the affected area.



**Figure 6.** Pre-fire, fire, and post-fire HCHO maps for Mersin province  
**Şekil 6.** Mersin ili yangın öncesi, yangın esnasında ve yangın sonrası HCHO haritaları

Figure 7 depicts tropospheric  $\text{SO}_2$  column number density maps for the pre-fire, fire, and post-fire periods. On July 30, the maximum amount of  $\text{SO}_2$  concentration was measured as  $0.00049 \text{ mol/m}^2$  in the Aydıncık district. Vertical columns of  $\text{SO}_2$  travel in the same direction as the wind, and are scattered to the north and south of the affected

zone. Following the fire,  $\text{SO}_2$  concentrations followed the same path as HCHO concentrations, possibly due to the changing direction of the wind, and there was still a lot of  $\text{SO}_2$  in the western part of the area. Because the season was dry and non-rainy, higher  $\text{SO}_2$  concentrations had no effect on urban areas.

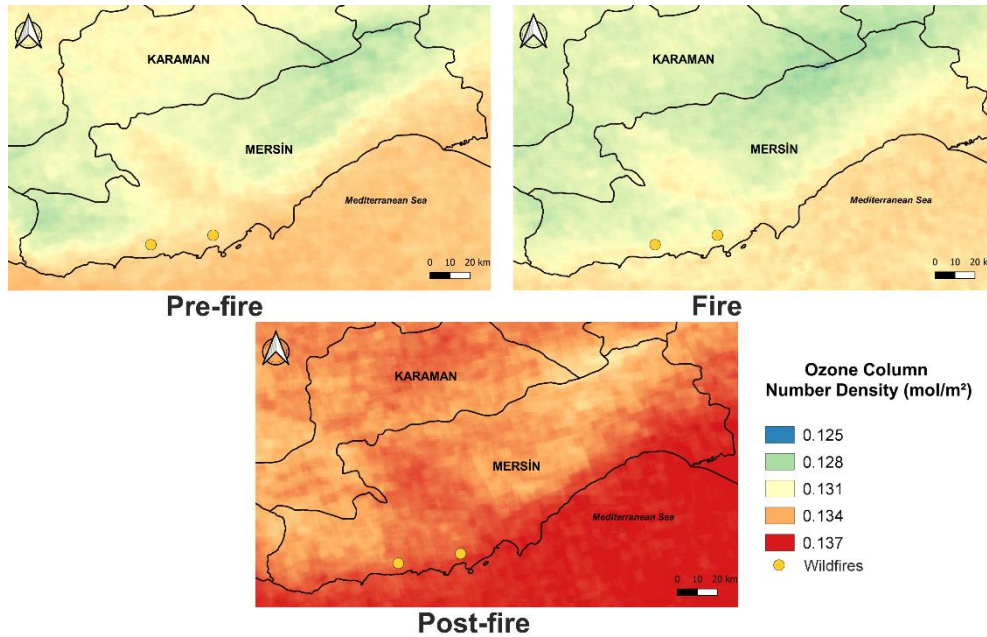


**Figure 7.** Pre-fire, fire, and post-fire SO<sub>2</sub> maps for Mersin province

**Şekil 7.** Mersin ili yangın öncesi, yangın esnasında ve yangın sonrası SO<sub>2</sub> haritaları

Figure 8 demonstrates that the chemical reactions for O<sub>3</sub> production did not occur instantly during the fire period. Instead, ozone concentrations in tropospheric layers increased even hundreds of kilometres away as a result of NO<sub>x</sub> emissions

available throughout the province. Because the air is warm and slow after the wildfires, an "ozone episode" occurred in the atmosphere on August 4, with an ozone concentration of 0.137 mol/m<sup>2</sup>.



**Figure 8.** Pre-fire, fire, and post-fire O<sub>3</sub> maps for Mersin province

**Şekil 8.** Mersin ili yangın öncesi, yangın esnasında ve yangın sonrası O<sub>3</sub> haritaları

As a downlooking spectrometer, TROPOMI retrieves Vertical Column Density (VCD), providing researchers with an illustration of the total number of molecules over a vertical slice. A mixing fraction, on the other hand, is often defined in parts per million and is intended to articulate the average number of molecules in a parcel of air. As

a result, comparing our results with critical levels of these trace gases requires a conversion from a quantity per area to a quantity in a volume. An atmospheric chemistry model is required to estimate the likely vertical distribution of trace gases in order to make such a comparison. This study aimed to demonstrate the fluctuations of

trace gases in VCDs using TROPOMI data; thus, the current data set used has the limitation of distributing gas concentration levels in different layers of columns. The maps created for this study clearly show that the levels of atmospheric trace gases increased significantly during and after the Mersin wildfire events; however, it is not possible to determine which areas were exposed to concentrations above critical levels.

#### 4. Conclusions

##### 4. Sonuçlar

The land and atmospheric data retrieved from satellite remote sensing platforms were analyzed in this study to determine the burn severity of extreme wildfires in Mersin Province that occurred in the summer of 2021, as well as to visualize the fluctuations of atmospheric trace gases, known to be air pollutants, across the entire province.

The data acquisition chunk of this study supports the idea that Sentinel 2A, 5P TROPOMI and MODIS products are powerful tools for obtaining instantaneous data for the area of interest's terrestrial and atmospheric content. The quantitative results of burn severity work show that there were high and moderately effected zones in the wildfire region, and there has been no improvement in vegetation growth so far. Furthermore, the land surface temperatures and the burn severity are found to be positively correlated. The amount of pollutants in the atmosphere was found to be increasing during and after the extreme wildfire events. The direction of trace gases followed the direction of the wind, and the majority of the gases were captured at sea. It has not been encountered that there was a significant increase in air pollutants near urban areas. However, ozone concentrations increased significantly after the wildfire event because the nitrogen oxide levels in the entire province were sufficient to produce ozone.

#### Author contribution

##### Yazar katkısı

MCİ: Literature review, conceptual design, data pre-processing, data visualization, writing and editing. EŞ: data preparation, data processing, data visualization, writing and editing. Both authors read and confirmed the article.

#### Declaration of ethical code

##### Etik beyanı

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan

materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

#### Conflicts of interest

##### Çıkar çatışması beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

#### References

##### Kaynaklar

- Alvarado, L. M. A., Richter, A., Vrekoussis, M., Hilboll, A., Kalisz Hedegaard, A. B., Schneising, O., & Burrows, J. P. (2020). Unexpected long-range transport of glyoxal and formaldehyde observed from the Copernicus Sentinel-5 Precursor satellite during the 2018 Canadian wildfires. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(4), 2057–2072. <https://doi.org/10.5194/acp-20-2057-2020>
- Aryal, R., Kafley, D., Beecham, S., & Morawska, L. (2018). Air Quality in the Sydney Metropolitan Region during the 2013 Blue Mountains Wildfire. *Aerosol and Air Quality Research*, 18(9), 2420–2432. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2017.10.0427>
- Bao, Y., Chen, S., Liu, Q., Xiao, Q. & Cao, C., (2011). Land surface temperature and emissivity retrieval by integrating MODIS data onboard Terra and Aqua satellites. *International Journal of Remote Sensing*, 32(5), 1449–1469. <https://doi.org/10.1080/01431160903559754>
- Cansler, C. A., & McKenzie, D. (2012). How robust are burn severity indices when applied in a new region? Evaluation of alternate field-based and remote-sensing methods. *Remote Sensing*, 4(2), 456–483. <https://doi.org/10.3390/rs4020456>
- Chuvieco, E., & Congalton, R. G. (1989). Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing of Environment*, 29(2), 147–159. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90023-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90023-0)
- Cocke, A. E., Fulé, P. Z., & Crouse, J. E. (2005). Comparison of burn severity assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data. *International Journal of Wildland Fire*, 14(2), 189. <https://doi.org/10.1071/WF04010>
- Çolak, E., & Sunar, F. (2020). Spatial pattern analysis of post-fire damages in the Menderes District of Turkey. *Frontiers of Earth Science*, 14(2), 446–461. <https://doi.org/10.1007/s11707-019-0786-4>
- Díaz-Delgado, R., Lloret, F., & Pons, X. (2003). Influence of fire severity on plant regeneration by means of remote sensing imagery. *International*

- Journal of Remote Sensing*, 24(8), 1751–1763. <https://doi.org/10.1080/01431160210144732>
- Dindaroglu, T., Babur, E., Yakupoglu, T., Rodrigo-Comino, J., & Cerdà, A. (2021). Evaluation of geomorphometric characteristics and soil properties after a wildfire using Sentinel-2 MSI imagery for future fire-safe forest. *Fire Safety Journal*, 122, 103318. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103318>
- Ebrahimi, H., Aghighi, H., Azadbakht, M., Amani, M., Mahdavi, S., & Matkan, A. A. (2021). Downscaling MODIS land surface temperature product using an adaptive random forest regression method and Google Earth Engine for a 19-years spatiotemporal trend analysis over Iran. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 2103–2112. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3051422>
- Eva, H., & Lambin, E. F. (2000). Fires and land-cover change in the tropics: a remote sensing analysis at the landscape scale. *Journal of Biogeography*, 27(3), 765–776. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2000.00441.x>
- Fassnacht, F. E., Schmidt-Riese, E., Kattenborn, T., & Hernández, J. (2021). Explaining Sentinel 2-based dNBR and RdNBR variability with reference data from the bird's eye (UAS) perspective. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 95, 102262. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102262>
- Fernández, C., Vega, J. A., Fonturbel, T., Pérez-Gorostiaga, P., Jiménez, E., & Madrigal, J. (2007). Effects of wildfire, salvage logging and slash treatments on soil degradation. *Land Degradation & Development*, 18(6), 591–607. <https://doi.org/10.1002/ldr.797>
- Fu, A. S. (2022). *Risky cities: The physical and fiscal nature of disaster capitalism*. Rutgers University Press.
- Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. E., & Bounoua, L. (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment*, 114(3), 504–513. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.008>
- Kaplan, G., & Yigit Avdan, Z. (2020). Space-borne air pollution observation from Sentinel-5p TROPOMI: relationship between pollutants, geographical and demographic data. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(3), 130-137. <https://doi.org/10.26833/ijeg.644089>
- Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18(1), 116. <https://doi.org/10.1071/WF07049>
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). *Landscape assessment (LA) sampling and analysis methods*.
- Langmann, B., Duncan, B., Textor, C., Trentmann, J., & van der Werf, G. R. (2009). Vegetation fire emissions and their impact on air pollution and climate. *Atmospheric Environment*, 43(1), 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.047>
- Lindenmayer, D. B., Kooyman, R. M., Taylor, C., Ward, M., & Watson, J. E. M. (2020). Recent Australian wildfires made worse by logging and associated forest management. *Nature Ecology & Evolution*, 4(7), 898–900. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1195-5>
- Liu, X., Huey, L. G., Yokelson, R. J., Selimovic, V., Simpson, I. J., Müller, M., Jimenez, J. L., Campuzano-Jost, P., Beyersdorf, A. J., Blake, D. R., Butterfield, Z., Choi, Y., Crounse, J. D., Day, D. A., Diskin, G. S., Dubey, M. K., Fortner, E., Hanisco, T. F., Hu, W., ... Wolfe, G. M. (2017). Airborne measurements of western U.S. wildfire emissions: Comparison with prescribed burning and air quality implications. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(11), 6108–6129. <https://doi.org/10.1002/2016JD026315>
- Llorens, R., Sobrino, J. A., Fernández, C., Fernández-Alonso, J. M., & Vega, J. A. (2021). A methodology to estimate forest fires burned areas and burn severity degrees using Sentinel-2 data. Application to the October 2017 fires in the Iberian Peninsula. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 95, 102243. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102243>
- Magro, C., Nunes, L., Gonçalves, O., Neng, N., Nogueira, J., Rego, F., & Vieira, P. (2021). Atmospheric Trends of CO and CH4 from Extreme Wildfires in Portugal Using Sentinel-5P TROPOMI Level-2 Data. *Fire*, 4(2), 25. <https://doi.org/10.3390/fire4020025>
- McClure, C. D., & Jaffe, D. A. (2018). Investigation of high ozone events due to wildfire smoke in an urban area. *Atmospheric Environment*, 194, 146–157. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.09.021>
- Na, K., & Cocker, D. R. (2008). Fine organic particle, formaldehyde, acetaldehyde concentrations under and after the influence of fire activity in the atmosphere of Riverside, California. *Environmental Research*, 108(1), 7–14. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.04.004>

- Nasery, S., & Kalkan, K. (2020). Burn area detection and burn severity assessment using Sentinel 2 MSI data: The case of Karabağlar district, İzmir/Turkey. *Turkish Journal of Geosciences*, 1(2), 72–77.
- National Toxicology Program. (2010). *Final report on carcinogens background document for formaldehyde. Report on Carcinogens Background Document for Formaldehyde*. Access: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20737003>
- Omaye, S. T. (2002). Metabolic modulation of carbon monoxide toxicity. *Toxicology*, 180(2), 139–150. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(02\)00387-6](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(02)00387-6)
- Sabuncu, A., & Özener, H. (2019). Uzaktan Algılama Teknikleri ile Yanmış Alanların Tespiti: İzmir Seferihisar Orman Yangını Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 317–326. <https://doi.org/10.21324/dacd.511688>
- Salman, T., Zia, U.-H., Ayesha, M., Usman, M., & Waseem, A. (2021). Assessment of air quality during worst wildfires in Turkey. *Natural Hazards*. <https://doi.org/https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-903604/v1>
- Savenets, M., Osadchyi, V., Oreshchenko, A., & Pysarenko, L. (2020). Air quality changes in Ukraine during the April 2020 wildfire event. *Geographica Pannonica*, 24(4), 271–284. <https://doi.org/10.5937/gp24-27436>
- Schneising, O., Buchwitz, M., Reuter, M., Bovensmann, H., & Burrows, J. P. (2020). Severe Californian wildfires in November 2018 observed from space: the carbon monoxide perspective. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(6), 3317–3332. <https://doi.org/10.5194/acp-20-3317-2020>
- Tonbul, H., Kavzoglu, T., & Kaya, S. (2016). Assessment of fire severity and post-fire regeneration based on topographical features using multitemporal LANDSAT imagery: A case study in Mersin, Turkey. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B8, 763–769. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B8-763-2016>
- TROPOMI. (2021). *Level 2 Products*. Access: <http://www.tropomi.eu/data-products/level-2-products>
- Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., & Li, Z.-L. (2004). Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 25(1), 261–274. <https://doi.org/10.1080/0143116031000116417>
- Wang, M., He, G., Zhang, Z., Wang, G., Wang, Z., Yin, R., Cui, S., Wu, Z., & Cao, X. (2019). A radiance-based split-window algorithm for land surface temperature retrieval: Theory and application to MODIS data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 76, 204–217. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.11.015>
- Watson, G. L., Telesca, D., Reid, C. E., Pfister, G. G., & Jerrett, M. (2019). Machine learning models accurately predict ozone exposure during wildfire events. *Environmental Pollution*, 254, 112792. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.088>
- Weber, J.-N., Kaufholdt, D., Minner-Meinen, R., Bloem, E., Shahid, A., Rennenberg, H., & Hänsch, R. (2021). Impact of wildfires on SO<sub>2</sub> detoxification mechanisms in leaves of oak and beech trees. *Environmental Pollution*, 272, 116389. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116389>
- Wolfe, R. E., Nishihama, M., Fleig, A. J., Kuypers, J. A., Roy, D. P., Storey, J. C., & Patt, F. S. (2002). Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 31–49. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00085-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00085-8)
- Wu, J., M Winer, A., & Delfino, R J. (2006). Exposure assessment of particulate matter air pollution before, during, and after the 2003 Southern California wildfires. *Atmospheric Environment*, 40(18), 3333–3348. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.01.056>
- Zhang, Y., & Cheng, X. (2017). Satellite observation based thermal anomalies detection for 2016 Menyuan MS6.4 earthquake. *2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 1930–1933. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2017.8127356>

## Gümüşhane yöresinde yetişen *Ribes petraeum* Wulfen (Frenk Üzümü) bitkisinden uçucu yağın elde edilmesi, kimyasal içerik ve biyolojik aktivitelerinin belirlenmesi

*Determination of chemical content and biological activities obtaining essential oil from Ribes petraeum Wulfen plant grown in Gümüşhane region*

Şeyda Merve KARATAŞ<sup>1,a</sup>, Mehmet ÖZ<sup>\*2,b</sup>, Muhammed Said FIDAN<sup>3,c</sup>, Cemalettin BALTACI<sup>1,d</sup>, Osman ÜÇÜNCÜ<sup>4,e</sup>

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

<sup>2</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, 29100, Gümüşhane

<sup>3</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16310, Bursa

<sup>4</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maçka Meslek Yüksekokulu, Eczane Hizmetleri Bölümü, 61750, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 20.09.2021

• Düzeltılarak geliş tarihi / Received in revised form: 11.01.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 09.02.2022

### Öz

Bu makalede; *R. petraeum* bitkisinin yapraklarının uçucu yağı Clevenger tipi cihazda su buharı-distilasyonu metodu ile alınmıştır. Uçucu yağın kimyasal bileşimleri, GC-MS/FID cihazı ile analiz edilerek belirlenmiştir. Elde edilen uçucu yağın antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi serbest radikal giderme (DPPH ve ABTS) aktivitesine ve demir (III) iyonu indirgeyici antioksidan gücü (FRAP) kapasitesi yöntemlerine göre yapılmıştır. Ayrıca bazı biyoaktif bileşen içerikleri toplam fenolik madde miktarları (TPC), toplam flavonoid madde miktarları (TFC), toplam antioksidan aktivite (TAC) çalışmalarıyla belirlenmiştir. Uçucu yağın antimikrobiyal aktiviteleri ise disk difüzyon yöntemi ile 23 farklı mikroorganizmaya karşı belirlenmiştir. Sonuç olarak; yüzde uçucu yağ verimi *R. petraeum* bitkisinin yapraklarında %0.47 olarak bulunmuştur. Bitki yapraklarının uçucu yağında % oran olarak en yüksek bileşik bulunan kimyasal sınıf aldehitler (%55.98) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, uçucu yağında bulunan ana bileşen (*E*)-2-hegzanal (%52.90) olarak saptanmıştır. Bitki kısımlarının toplanan örneklerine ait elde edilen antioksidan aktivite tayininde DPPH ve ABTS miktarları sırasıyla 18.73 mg AA/100 mL ve 21.31 mg AA/100 mL aralığında ve FRAP kapasitesi 6.50 mg FeSO<sub>4</sub>/100 mL tespit edilmiştir. Biyoaktif bileşen içeriklerinin TPC miktarı 66.37 mg GA/100 mL, TFC miktarı 1.51 mg QE/100 mL ve TAC miktarı 195.43 mg AA/100 mL olduğu bulunmuştur. Bitki kısmının toplanan örneklerine ait elde edilen antimikrobiyal aktiviteleri analizleri sonucuna göre mikroorganizmalara karşı herhangi bir antimikrobiyal aktivite göstermedikleri belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Antioksidan ve antimikrobiyal, GC-MS, Kimyasal bileşim, *Ribes petraeum*, Uçucu yağ

### Abstract

In this study; essential oil of the leaves of *R. petraeum* plant were determined by hydrodistillation method in a Clevenger type device. The chemical compositions of volatile oil were determined by analyzing with a GC-MS/FID instrument. The amount of antioxidant activities of the obtained essential oil were determined by free radical scavenging (DPPH and ABTS) amounts, and Ferric (III) Reducing Antioxidant Power (FRAP) capacity according to methods. In addition, some bioactive compounds contents were determined by total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), total antioxidant activity (TAC) studies. Antimicrobial activities of volatile oil were attained against 23 different microorganisms by disc diffusion method. As a result; the percent essential oil yield was determined as 0.47% in the leaves of the *R. petraeum*. The chemical class with the highest percentage of compounds in the essential oil of plant part: Aldehydes (55.98%) were determined in the leaves of the *R. petraeum*. In addition, the main component in its essential oil was found as (*E*)-2-hexenal (52.90%) in the leaves of the *R. petraeum*. The amount of antioxidant activities obtained from samples collected from plant parts were determined as 18.73 mg AA/100 mL and 21.31 mg AA/100 mL in DPPH and ABTS, and 6.50 mg FeSO<sub>4</sub>/100 mL in FRAP capacity. The bioactive component contents were found as 66.37 mg GAE/100 mL in TPC, 1.51 mg QE/100 mL in TFC, 195.43 mg AA/100 mL in TAC. According to the results of the antimicrobial activities analysis obtained from the collected sample of plant parts, leaves of *R. petraeum* were not showed any antimicrobial activity against the microorganisms used.

**Keywords:** Antimicrobial and antioxidant, GC-MS, Chemical composition, *Ribes petraeum*, Essential oil

<sup>a</sup> Mehmet ÖZ, mehmetoz@gumushane.edu.tr, Tel: (0456) 233 10 60, orcid.org/0000-0001-8392-4476

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-5221-1681

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0001-6562-6299

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0002-4336-4002

<sup>e</sup> orcid.org/0000-0003-0858-0188

## 1. Giriş

### 1. Introduction

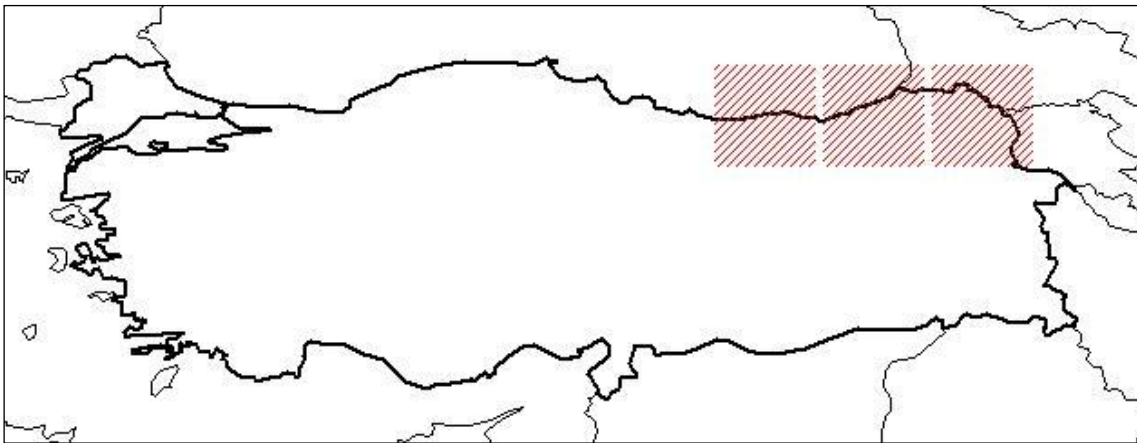
Günümüzde ormanların gelir getirmekten başka çok çeşitli hizmet ve fonksiyonlarının olduğu, odundan başka ürünlerinin olduğu ve bu ürünlerle ilgili talebin gittikçe arttığı, sadece ticari gelir sağlamakla değil, aynı zamanda orman köylüleri başta olmak üzere yerel ihtiyaçların karşılanması da, her geçen gün daha kuvvetli bir biçimde fark edilmektedir. Tüm bunlar ormanların sürdürülebilir yönetimini gerekli kılmaktadır. Bunun için özellikle yerel ihtiyaçların karşılanması sağlanmalı bundan sonra ticari beklentiler söz konusu olmalıdır. Odun dışı bitkiler, orman köylüleri ve küçük orman sahipleri için önemli girdi kaynaklarıdır. Ülkemiz odun dışı orman ürünleri (ODOÜ) bakımından çok zengin bir çeşitliliğe ve üretim potansiyeline sahiptir. Ülkemizde 2020 yılında gerçekleşen odun dışı orman ürünleri üretim miktarı 829 bin ton, bu üretimden orman köylüsünün kazancı 800 milyon TL ve ülke ekonomisine katkısı ise 6 milyar TL olarak gerçekleşmiştir (Ogm, 2021).

Odun dışı orman ürünlerinden biri olan Frenk üzümü *Ribes petraeum* Wulfen (sinonim: *Ribes biebersteinii* Berl. ex. DC.) 1-3 m. boylarında, dikensiz bir çalı, çiçek kurulu eğik bir salkım halinde, yapraklar 12 x 13 cm, dip kısmı yürek gibi, 3-5 loplu, 22-40 çiçekli, orta eksenli tüysüzdür. Çiçek sapı yaprakçığı (Braktecik) 1 mm, çiçekler hermafrodit, kırmızımsı, çiçek yapısı çan şeklinde, taç yapraklar çanak yaprağın yarısı kadardır. Meyve küremsi, 4-6 mm, kırmızı, tüysüzdür. A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve C vitaminleri, süksinik asit, sitrik asit, malik asit, pektin, musilaj ve tuzları içerir. İdrar söktürücü, kan temizleyici, vitamin zenginliği,

kabızlığı giderici etkileri vardır. Meyvelerinden şurup ve meyve suyu şeklinde yararlanılır. Meyve olarak yenildiğinde hazmı kolaylaştırarak gidermektedir. Çok lezzetli reçel ve marmelatı olur, yaprakları sıvı ekstre halinde romatizmal hastalıklara karşı etkilidir. Bu sıvının lapa halinde haricen eklem çıkıkları ağrılarına karşı tedavi özelliği de bulunmaktadır. Meyveleri kozmetik sanayinde, yüz maskeleri olarak cansız ve yorgun deriyi güçlendirir. (Chiej, 1988). Bitkinin meyve, yaprak, tomurcuk ve çiçeklerinde uçucu yağ bulunmaktadır.

*Ribes petraeum*'un Ülkemizdeki dağılımı Şekil 1'de, genel bir görünüşü ise Şekil 2'de gösterilmiştir.

Literatürde, bitkilerden elde edilen uçucu yağın kimyasal bileşimlerinin belirlenmesi ve bu yağın antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerinin belirlenmesi üzerine pek çok çalışma mevcuttur (Üçüncü, 2010). Uçucu yağın eldesinde bitkilerin içerdikleri uçucu yağ miktarına ve cinsine, kullanılan kısma ve hassasiyetine göre farklı yöntemler kullanılır. Bu yöntemler distilasyon, sıkma, çözücü ekstraksiyonu, yağ ekstraksiyonu (anfloranj), karbondioksit ekstraksiyonu ve hidrodiffüzyon/süzme teknikleri kullanılmaktadır. Uçucu yağın antioksidan özelliklerinin belirlenmesinde CUPRAC Yöntemi, TEAC Troloks/ABTS Yöntemi, FRAP Yöntemi, DPPH Yöntemi ve toplam fenolik madde tayini yöntemleri kullanılabilir (Sanchez-Moreno vd., 1998; Gámez-Meza vd., 1999). Antimikrobiyal etkilerin belirlenmesinde ise disk difüzyon, agar difüzyon ve MIC yöntemleri kullanılmaktadır (Sağdıç & Özcan, 2002).



Şekil 1. *Ribes petraeum*'un ülkemizdeki dağılımı (Tübives, 2018)  
Figure 1. Distribution of *Ribes petraeum* in Turkey (Tübives, 2018)





**Şekil 2.** *Ribes petraeum* (Foto: Mehmet ÖZ, 31.05.2020)

**Figure 2.** *Ribes petraeum* (Photo: Mehmet ÖZ, 31.05.2020)

Delazar vd. (2010), *R. biebersteinii* bitki meyvelerinin metanol özütlerinin HPLC ile analizi sonucunda serbest radikal temizleyici 5 adet siyanidin glikozit tespit etmişlerdir. Bunlar 3-*O*-sambubiosil-5-*O*-glukosil siyanidin, siyanidin 3-*O*-sambubiosit, siyanidin 3-*O*-glikozit, siyanidin 3-*O*-(2G-ksilosil)-rutinositve siyanidin 3-*O*-rutinosit'dir. Delazar vd. (2010a), *R. biebersteinii* bitki yapraklarının metanol ekstraksiyonunun HPLC ile analizi sonucunda serbest radikal temizleyici 4 adet flavonol glikozit tespit etmişlerdir. Bunlar kuersetin 3-*O*-sophorosit, kuersetin 3-*O*-sambubiosit, kamferol 3-*O*-sophorosit ve kamferol 3,5-di-*O*- $\beta$ -glukopiranosit'dir. Ikuta vd. (2012), *Ribes nigrum* L. özütlerinin anti viral ve anti bakteriyel etkilerini araştırmışlardır. %1'den az konsantrasyonda HSV-1, IFV-A, IFV-B, RSV virüslerininin %50'den fazla çoğalmasını inhibe ettiğini ayrıca, %10 özütün bu virüslerin hücre yüzeyine absorpsiyonunu %85'in üzerinde engellediğini belirtmiştir.

Gümüşhane yöresinde yetişen *R. petraeum* bitkisi hakkında kimyasal bileşimlerinin belirlendiği ve uçucu yağının antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerinin araştırıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, *R. petraeum* yaprak örneklerinin uçucu yağ kompozisyonu, antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerinin açığa çıkarılması ve literatüre katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve metot

### 2. Material and method

#### 2.1. Materyal

##### 2.1 Material

Bu çalışmada materyal olarak Gümüşhane İli sınırları içinde bulunan Kürtün-Örümcek Ormanları'ndan (40°39'43"K, 39°01'40"D yükselti: 1540m) toplanan *R. petraeum* bitki yaprakları kullanılmıştır. Örneklerin alındığı lokasyon Şekil 3'te gösterilmiştir. Bitki materyali Giresun Üniversitesi, Dereli Meslek Yüksek Okulu, Ormancılık Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Mutlu Gültepe tarafından teşhis edilmiştir. Bitki örneği, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü Herbariumuna KTUB Gültepe 720 numarası ile kayıt edilmiştir.

#### 2.2 Metot

##### 2.2 Method

##### 2.2.1. Örneklerin uçucu yağının elde edilmesi

###### 2.2.1. Obtaining essential oil of the samples

Uçucu yağın elde edilmesi su buharı distilasyonu prensibine dayalı çalışan modifiyeli Clevenger cihazı ile yapılmıştır. Yaprak örneklerinden 100 g alınmış ve parçalanarak şilifli balonlara yerleştirilmiştir. Yaprakların üzerine 500 mL saf su ilave edilerek 4-6 saat süre ile distilasyon işlemi yapılmıştır (Küçük vd., 2006).



**Şekil 3.** Örneklerin alındığı lokasyon  
**Figure 3.** Location where samples were taken

### 2.2.2. GC-MS/FID ile uçucu yağ bileşenlerinin analizi

#### 2.2.2. Analysis of essential oil components with GC-MS/FID

Clevenger sisteminde su buharı distilasyonu ile elde edilen uçucu yağ hekzanda çözülerek 0.45 mikron filtreden geçirildi ve amber renkli viallere konularak oto örnekleyiciye yerleştirilmiştir. HP-5 apolar kapiler kolonun kullanılarak GC-MS/FID cihazı ile bileşenler tespit edilmiştir.

Uçucu bileşikler gaz kromatografisi kolonunda ayrıldıktan sonra kütle spektrofotometresinde her birinin tek tek kütle spektrumları alınmış ve her bir bileşenin kütle spektrumları NIST ve Willey kütüphanelerinin referans bileşikleriyle karşılaştırarak yapıları aydınlatılmıştır. Tespit edilen bileşiklerin doğrulanması için bileşiklere ait

kovats indeksleri literatür verileriyle karşılaştırılmıştır. Uçucu yağın ölçümü ise Gaz Kromatografisi Alev İyonizasyon Detektörü ile yapılmıştır. Tablo 1'de verilen GC-MS çalışmasında tanımlanan şartlar, GC içinde aynı olup, aynı kolona 1 µL hekzan içerisinde uçucu yağ enjekte edilerek split oranı 1:5 şeklinde olarak ayarlanmıştır. GC-MS analizleri, Agilent-7890 model cihazında yapılmış ve analiz için HP-5 model apolar kapiler kolon (30 m x 0.32 mm, film kalınlığı 0.25 µm) kullanılmıştır.

Taşıyıcı gaz olarak 1 mL/min akış hızıyla helyum kullanılarak enjeksiyonlar 230 °C'de split modunda uygulanmıştır. Hekzan (GC sınıfı) içindeki 1 µL uçucu yağ çözeltisi enjekte edilmiş ve başlangıçta 60 °C'de 2 dakika tutularak sonrasında 3 °C/min artışla 240 °C'ye çıkarılarak spektrumlar alınmıştır.

**Tablo 1.** Bitkinin uçucu yağ analizleri için kullanılmış GC/MS koşulları

**Table 1.** GC/MS conditions used for essential oil analysis of the plant

Cihaz	Şartlar
Sistem	Agilent-7890A GC-MS Cihazı
Kolon	HP-5 model apolar kapiler kolon (30 m x 0.32 mm i.d., film kalınlığı 0.25 µm)
Taşıyıcı Gaz ve Akış Hızı	Helyum 1 mL/dak
Dedektör	FID
Enjeksiyon Sıcaklığı	230 °C
Kolon Sıcaklığı	60 °C'de 2 dak, dakikada 3 °C artışla 240 °C'ye programlanmış, 240 °C'de tutulmalı
Split Oranı	1:5
Elektron Enerjisi	0 eV
Enjeksiyon Miktarı	1µL

### 2.2.3. Antioksidan aktivite tayini

#### 2.2.3. Antioxidant activity determination

Antioksidan çalışmalarında yaprak örneklerine ait uçucu yağ modifiyeli clevenger tipi cihaz yardımıyla elde edilmiştir. Elde edilen uçucu yağ ile yapılan antioksidan analizi ön denemelerinde aktivitelerinin çok yüksek olmadığı görülerek, örnekler sulandırma yapılmadan kullanılmıştır.

#### 2.2.3.1. Serbest radikal giderme aktivitesi (DPPH ve ABTS)

##### 2.2.3.1. Free radical scavenging activity (DPPH and ABTS)

DPPH; numunelerin serbest radikal giderme aktivitesi, DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) metodu ile gerçekleştirilmiştir (Sağdıç vd., 2011;

Ahmed vd., 2015). Yapraklardan elde edilmiş 200 µL uçucu yağ örneklerine 4 mL, 0.1 mM metanolde hazırlanan DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) çözeltisi eklenmiştir. Karanlıkta ve oda sıcaklığında 30 dakika inkübasyonun ardından numunelerin absorpsanları 517 nm dalga boyunda kontrol çözeltisine karşı okunmuştur. Her bir örnek için 3 (paralel) analiz yapılarak numunelerin serbest radikal giderme aktivitesi % inhibisyon olarak aşağıdaki formülle hesaplanmıştır. Sonuçlar, mg AA Eşdeğeri/100 mL ve % serbest radikal giderme ± standart sapma olarak verilmiştir. Karşılaştırma standartı olarak Askorbik asit ve Trolox kullanılmıştır. Trolox çalışma çözeltisi 25, 50, 100, 200, 400 µg/mL ve askorbik çalışma çözeltisi 20, 50, 100, 150, 200 ve 400 µg/ml konsantrasyonlarında çalışılmıştır. % inhibisyon oranı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{İnhibisyon (\%)} = \left[ \frac{(\text{Kontrol Absorbansı} - \text{Örneğin Absorbansı})}{\text{Kontrol Absorbansı}} \right] \times 100 \quad (1)$$

ABTS; 150 µL numune alınarak 2850 µL ABTS çalışma çözeltisi ilave edilmiştir. Karışım vorteksenerek 120 dk karanlıkta beklenmiştir. Elde edilen çözelti sonra 734 nm'de spektrofotometre absorpsansı okunmuştur. Kör olarak 150 µL metanol kullanılmıştır. Aynı

işlemler standartlardan (askorbik asit) 150 µL alınıp tekrar edilmiştir. Örneklerin ABTS katyonu giderme aktivitesi miktarları aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (Ahmed vd., 2015). Sonuçlar mg AA Eşdeğeri/100 mL ve % serbest radikal giderme ± standart sapma olarak verilmiştir.

$$\text{İnhibisyon (\%)} = \left[ \frac{(\text{Kontrol Absorbansı} - \text{Örneğin Absorbansı})}{\text{Kontrol Absorbansı}} \right] \times 100 \quad (2)$$

#### 2.2.3.2. Demir (III) iyonu indirgeyici antioksidan gücü (FRAP) yöntemi

##### 2.2.3.2. Ferric (III) ion reducing antioxidant power (FRAP) method

250 µL numune alınarak 2750 µL FRAP çözeltisi ilave edilmiştir. Karışım vorteksenerek 30 dakika beklenmiştir. Kör olarak 500 µL saf su kullanılmıştır. Standartlardan 250 µL alınarak aynı işlemler tekrarlanmıştır. Analiz sonuçları, FeSO<sub>4</sub> (10, 25, 50, 100 ve 200 µg/ml) çözeltisi ile elde edilen kalibrasyon grafiğinin doğru denklemi kullanılarak toplam demir indirgeme kapasitesi mg FeSO<sub>4</sub> Eşdeğeri/100 mL olarak ifade edilmiştir (Ahmed vd., 2015).

sonrasında 200 µL Folin-ciocalteu's reaktifi ilave edilmiştir. Karışım vorteksenmiş ve 10 dakika oda şartlarında inkübe edildikten sonra üzerine 600 µL %10 lik Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> çözeltisi ilave edilmiştir. Elde edilen karışım tekrar vorteksendikten sonra oda şartlarında karanlıkta 120 dakika inkübasyona bırakılmıştır. İnkübe süresi bitiminde karışımın 760 nm deki absorpsansı okunmuştur. Analizde 3.7 mL su+500 µL metanol +100 µL folin-ciocalteu's reaktifi+600 µL %10'luk Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> karışımı kör olarak kullanılmıştır. Örneklerin sonuçları, gallik asidin (20, 40, 60, 80, 120 ve 160 µg/mL) çözeltisi ile elde edilen kalibrasyon grafiğinin doğru denklemi kullanılarak toplam fenolik mg GA Eşdeğeri/100 mL olarak belirlenmiştir (Kasangana vd., 2015).

#### 2.2.4. Toplam fenolik ve flavonoid madde miktarı

##### 2.2.4. Total amount of phenolic and flavonoid substances

Toplam fenolik madde miktarları; uçucu yağdan 300 µL örnek alınarak 3.4 mL deiyonize su eklenmiştir. Karışıma 0.5 mL metanol ve

Toplam flavonoid madde miktarı; 500 µL uçucu yağ örneği üzerine 3200 µL metanol (%30 v/v) ilave edilmiştir. Karışıma 1000 µL molybdate reaktifi ilave edilmiştir. Karışım vorteksenerek üzerine 0.5 M sodyumnitrit çözeltisinden 150 µL eklenmiştir. Daha sonra ise 150 µL 0.3 M alüminyum klorür eklenmiştir. 5 dk beklendikten sonra 1 mL 1 M NaOH çözeltisi ilave edilmiştir.

Karışım tekrar vorteksenerek 10 dk beklendikten sonra 506 nm’de spektrofotometre absorbanı okunmuştur. Kör olarak 500 µL saf su kullanılarak ve standartlardan 500 µL alınıp aynı işlemler yapılmıştır. Uçucu yağ örneklerinde toplam flavonoid madde miktarları kuersetin (50, 100, 150, 200, 400 ve 800 µg/mL) çözeltisi ile elde edilen kalibrasyon grafiğinin doğru denklemi kullanılarak toplam flavonoid mg Kuersetin Eşdeğeri/100 mL olarak belirlenmiştir (Kasangana vd., 2015).

### 2.2.5. Toplam antioksidan aktivitesi

#### 2.2.5. Total antioxidant activity

Yönteme göre 500 µL uçucu yağ örneğinden alınarak 2500 µL deiyonize su ilave edilmiştir. Karışıma 1000 µL molybdate reaktifi ilave edilmiştir. Karışım vorteksenerek ve 90 dakika 95 °C su banyosunda ağızları kapalı biçimde inkübe edilmiştir. Su banyosundan alınarak oda şartlarında sıcaklığa gelmesi için 20-30 dk beklenmiştir. Kör olarak örnek yerine 250 µL saf su kullanılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen reaksiyon karışımlarının absorbanı 695 nm spektrofotometre belirlenmiştir. Aynı işlemler standartlardan 500 µL alınıp tekrar edilmiştir. Uçucu yağ örneklerinin analiz sonuçları askorbik asidin (25, 50, 100, 150, 250, 500 ve 900 µg/mL) çözeltisi ile elde edilen kalibrasyon grafiğinin doğru denklemi kullanılarak toplam antioksidan mg AA (Askorbik asit) Eşdeğeri/100 mL uçucu yağ olarak verilmiştir (Kasangana vd., 2015).

### 2.2.6. Antimikrobiyal aktivite tayini

#### 2.2.6. Determination of antimicrobial activity

Çalışmada elde edilen uçucu yağın antimikrobiyal aktiviteleri disk difüzyon yöntemi ile belirlenmiştir (Matuschek vd., 2014). Antimikrobiyal aktivite, bakteri ve mayaların hazırlanması ile örneklerin hazırlanması olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

#### 2.2.6.1. Bakteri ve mayaların hazırlanması

##### 2.2.6.1. Preparing bacteria and yeasts

Çalışmada antimikrobiyal aktivite analizi için *Aeromonas hydrophila* ATCC 35654, *Bacillus cereus* ATCC 9634, *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Escherichia coli* O157:H7 35150, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 13883, *Listeria monocytogenes* ATCC 7644, *Micrococcus*

*luteus* KCTC 10240, *Proteus vulgaris* FMC, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Salmonella enteritidis* ATCC 13076, *Salmonella typhimurium* ATCC 23566, *Shigella flexneri* ATCC 12022, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Vibrio parahaemolyticus* ATCC 17802 ve *Yersinia enterocolitica* ATCC 1501 olmak üzere 17 bakteri ve *Aspergillus flavus* ATCC 46283, *Candida albicans* ATCC 10231, *Fusarium oxysporum* ATCC 44187, *Penicillium expansum* ATCC 7861, *Saccharomyces cerevisiae* S288C ve *Zygosaccharomyces bailii* ATCC 66825 olmak üzere 6 adet maya-küf kullanılmıştır. Bakteriler Nutrient Broth besiyerinde 36 °C’de 24 saatlik birinci aktifleştirmeden sonra 36 °C’de 18 saatlik ikinci aktifleştirmenin ardından kullanılmıştır. İkinci aktifleştirme sonunda, hazırlanan steril Nutrient Agar besiyerlerinin üzerlerine swap metodu ile sürme yapılmıştır. Maya ve küfler ise Malt Özüt Broth besiyerinde 27 °C’de 48 saatlik birinci aktifleştirmenin akabinde 24 saatlik ikinci aktifleştirmeden sonra kullanılmıştır. İki kere aktifleştirilen maya ve küfler Malt Özüt Agar üzerine, bakteriler de olduğu gibi swap metodu ile sürülerek analize hazır hale getirilmiştir.

#### 2.2.6.2. Uçucu yağ örneklerinin hazırlanması

##### 2.2.6.2. Preparing essential oil samples

Çalışmada clevenger yöntemi ile elde edilen uçucu yağ steril antimikrobiyal disklere 20 µL emdirilerek “2.2.6.1. Bakteri ve Mayaların hazırlanması” başlığında bahsedildiği gibi hazırlanan petriyelerin üzerine yerleştirilmiştir. Bakteri içeren petriyeler 36 °C’de 24 saat, maya ve küf içeren petriyeler ise 27 °C’de 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. Belirlenen süre sonunda disklerin etrafında meydana gelen şeffaf zonlar ölçülerek sonuçlar bulunmuştur.

### 3. Bulgular

#### 3. Results

*R. petraeum* yapraklarından elde edilen uçucu yağın GC-MS/FID analiz sonuçları Tablo 2’de ve kimyasal bileşenleri ise Tablo 3’te verilmiştir.

Yüzde olarak uçucu yağ verimi *R. petraeum* bitkisinin yapraklarında %0.47 olarak bulunmuştur. Uçucu yağın GC-MS/FID yöntemleri ile analizi sonucunda, *R. petraeum*’un yapraklarına ait uçucu yağında, toplamda 120 bileşiğin yapısı aydınlatılmış olup, 5 bileşiğin yapısı ise tanımlanamamıştır.

**Tablo 2.** *R. petraeum* yapraklarından elde edilen uçucu yağın GC-MS/FID analiz sonuçları  
**Table 2.** GC-MS/FID analysis results of essential oil obtained from *R. petraeum* leaves

Sıra No	Bileşikler	Bileşik Sınıfı	RT	% Alan	Kovats Index	Literatür Kovats Index
1	1-Penten-3-ol	Alkol	4.69	0.05	695	688
2	3-Metil butanal	Aldehid	4.75	0.04	699	697
3	Heptan	Hidrokarbon	4.93	0.55	707	700
4	2-Etil furan	Diğer	4.99	1.26	709	712
5	2,5-Dimetil tetrahidrofuran	Diğer	5.19	0.01	717	727
6	Metil siklohegzan	Hidrokarbon	5.42	0.44	726	726
7	(E)-2-Pental	Aldehid	6.14	0.10	755	755
8	Toluen	Hidrokarbon	6.46	0.02	767	766
9	(Z)-2-Penten-1-ol	Alkol	6.55	0.05	771	774
10	Hegzanal	Aldehid	7.37	0.77	802	802
11	2-Hegzin-1-ol	Alkol	9.02	1.34	846	847
12	(E)-2-Hegzenal	Aldehid	9.62	52.90	862	863
13	(Z)-2-Hegzen-1-ol	Alkol	9.88	0.15	868	869
14	1-Hegzanol	Alkol	9.98	1.28	871	871
15	Stiren	Hidrokarbon	10.80	0.03	893	893
16	Heptanal	Aldehid	11.22	0.04	903	903
17	(E,E)-2,4-Hegzadienal	Aldehid	11.61	0.05	912	913
18	$\alpha$ -Pinen	Monoterpen	12.63	0.09	934	934
19	4-Metil-1-hegzanol	Alkol	13.17	0.15	945	950
20	(E)-2-Heptenal	Aldehid	13.69	0.05	957	957
21	Benzaldehid	Aldehid	13.88	0.03	961	961
22	2-Metil-1-butanol propanoat	Ester	14.52	0.10	974	975
23	$\beta$ -Pinen	Monoterpen	14.63	0.04	977	977
24	1-Okten-3-ol	Alkol	14.98	10.75	984	984
25	6-Metil-5-hepten-2-on	Keton	15.17	0.07	988	988
26	2-Pentil furan	Diğer	15.35	0.18	992	992
27	(E,Z)-2,4-Heptadienal	Aldehid	15.63	0.15	998	998
28	(E)-2-(2-Pentenil)furan	Diğer	15.81	0.11	1002	1001
29	Oktanal	Aldehid	15.90	0.06	1004	1004
30	(Z)-3-Hegzen-1-ol asetat	Ester	16.10	0.03	1008	1008
31	(E,E)-2,4-Heptadienal	Aldehid	16.28	0.16	1012	1012
32	$\alpha$ -Terpinen	Monoterpen	16.62	0.03	1019	1019
33	<i>o</i> -Simen	Monoterpen	16.94	0.03	1025	1025
34	Limonen	Monoterpen	17.13	0.25	1029	1029
35	2,2,6-Trimetil siklohegzanon	Keton	17.43	0.03	1035	1035
36	<i>trans</i> - $\beta$ -Osimen	Monoterpen	17.52	0.11	1037	1038
37	$\gamma$ -Terpinen	Monoterpen	18.59	0.07	1059	1059
38	2-Metil benzaldehid	Aldehid	19.10	0.03	1069	1068
39	1-Oktanol	Alkol	19.21	0.31	1072	1072
40	$\alpha$ - Terpinolen	Monoterpen	20.64	0.27	1101	1100
41	Nonanal	Aldehid	20.84	0.20	1105	1105
42	(E,E)-2,4-Oktadienal	Aldehid	21.10	0.05	1110	1110
43	2-Metil-6-metilen-1,7-oktadien-3-on	Keton	21.42	0.02	1117	1117

**Tablo 2.** Devamı  
**Table 2.** Continuing

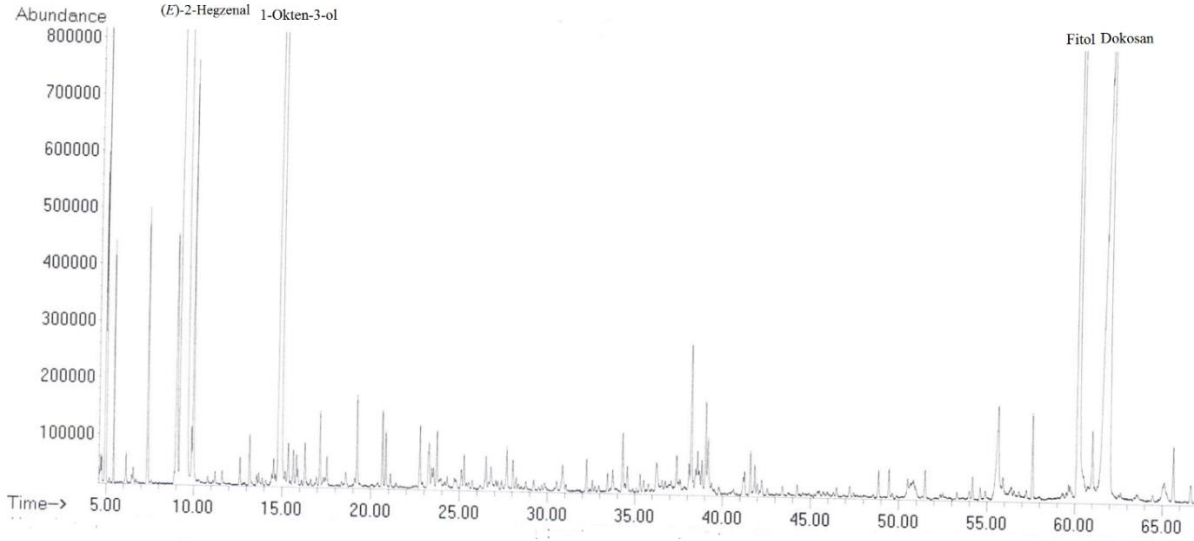
Sıra No	Bileşikler	Bileşik Sınıfı	RT	% Alan	Kovats Index	Literatür Kovats Index
44	2,6,6-Trimetil-2-siklohegzan-1,4-dion	Keton	22.76	0.23	1145	1145
45	(Z)-3-Nonen-1-ol	Alkol	23.28	0.27	1155	1156
46	(E)-2-Nonenal	Aldehid	23.53	0.09	1161	1161
47	3-Etil benzaldehid	Aldehid	23.72	0.23	1164	1168
48	(E,Z)-2,6-Nonadien-1-ol	Alkol	23.88	0.05	1169	1169
49	2,4-dimetil benzaldehid	Aldehid	24.30	0.06	1177	1178
50	Terpinen-4-ol	Monoterpenoid	24.72	0.05	1185	1182
51	1-(3-Metilfenil) etanon	Keton	24.79	0.06	1187	1182
52	$\alpha$ -Terpineol	Monoterpenoid	25.10	0.09	1193	1193
53	Metil salisilat	Ester	25.26	0.14	1196	1196
54	Safranal	Monoterpenoid	25.51	0.04	1202	1201
55	Dekanal	Aldehid	25.73	0.04	1206	1206
56	(E,E)-2,4-Nonadienal	Aldehid	26.17	0.03	1216	1216
57	$\beta$ -Siklositral	Monoterpenoid	26.51	0.17	1223	1223
58	Benzotiazol	Diğer	26.67	0.04	1227	1227
59	2-Pentilsiklopentanon	Keton	26.79	0.15	1229	1230
60	Izogeraniol	Monoterpenoid	27.07	0.05	1235	1237
61	2-Metil butanoik asit hegzil ester	Ester	27.18	0.04	1238	1238
62	Pulegon	Monoterpenoid	27.40	0.05	1242	1242
63	<i>trans</i> -Geraniol	Monoterpenoid	28.04	0.14	1256	1256
64	$\beta$ -Siklohomositral	Monoterpenoid	28.23	0.05	1260	1261
65	(E)-2-Dekanal	Aldehid	28.35	0.03	1263	1263
66	$\beta$ -Sitral	Monoterpenoid	28.78	0.05	1272	1271
67	<i>p</i> -Ment-4(8)-en-9-ol	Monoterpenoid	29.22	0.06	1282	1284
68	(E,Z)-2,4-Dekadienal	Aldehid	29.84	0.05	1295	1295
69	Undekanal	Aldehid	30.53	0.04	1311	1311
70	(E,E)-2,4-Dekadienal	Aldehid	30.87	0.17	1318	1318
71	Bulunamadı		32.24	0.14	1349	
72	Dehidro-ar-ionen	Terpen Benzeri	32.57	0.05	1357	1355
73	Eujenol	Terpen Benzeri	32.71	0.03	1360	1360
74	2-Undekenal	Aldehid	32.94	0.04	1365	1366
75	$\beta$ -Damaskenon	Monoterpenoid	33.73	0.12	1384	1384
76	Dekanoik asit	Yağ Asidi	34.30	0.29	1394	1394
77	<i>cis</i> -Jasmon	Terpen Benzeri	34.56	0.14	1402	1402
78	Dodekanal	Aldehid	35.09	0.03	1415	1414
79	Karyofilen	Seskiterpen	35.51	0.07	1425	1425
80	$\alpha$ -Ionon	Monoterpenoid	35.78	0.06	1432	1432
81	1-Asetiladamantan	Keton	36.24	0.25	1443	1443
82	<i>trans</i> -Geranilaseton	Monoterpenoid	36.74	0.10	1455	1455
83	Aromadendren	Seskiterpen	37.38	0.19	1470	1469
84	$\gamma$ -Kadinen	Seskiterpen	37.58	0.08	1475	1476
85	Germakren D	Seskiterpen	38.09	0.14	1487	1487
86	<i>trans</i> - $\beta$ -Ionon	Monoterpenoid	38.22	0.68	1490	1490

**Tablo 2.** Devamı  
**Table 2.** Continuing

Sıra No	Bileşikler	Bileşik Sınıfı	RT	% Alan	Kovats Index	Literatür Kovats Index
87	Eremofilen	Seskiterpen	38.58	0.22	1499	1500
88	$\alpha$ -Selinen	Seskiterpen	38.67	0.09	1501	1501
89	$\alpha$ -Farnesen	Seskiterpen	39.04	0.40	1511	1511
90	Tridekanal	Aldehid	39.18	0.31	1514	1513
91	(+)- $\delta$ -Kadinen	Seskiterpen	39.79	0.05	1530	1530
92	(Z)-3-Hegzen-1-ol benzoat	Ester	41.58	0.17	1575	1575
93	(E)-Dendrolasin	Seskiterpenoid	41.84	0.12	1582	1582
94	Hegzadekan	Hidrokarbon	42.56	0.04	1600	1600
95	Agarospinol	Seskiterpenoid	44.25	0.06	1645	1646
96	Heptadecan	Hidrokarbon	46.31	0.03	1700	1700
97	Farnesol	Seskiterpenoid	47.23	0.05	1726	1725
98	Benzil benzoat	Ester	48.85	0.12	1771	1770
99	Bulunamadı		49.45	0.13	1788	
100	Oktadekan	Hidrokarbon	49.88	0.03	1800	1800
101	Hegzadekanal	Aldehid	50.50	0.14	1819	1819
102	Bulunamadı		50.83	0.22	1828	
103	Hegzahidrofarnesil aseton	Seskiterpenoid	51.48	0.11	1848	1848
104	Salisilik asit, benzil ester	Ester	52.48	0.03	1877	1877
105	Nonadekan	Hidrokarbon	53.29	0.04	1901	1900
106	Heptadekanal	Aldehid	53.99	0.05	1922	1922
107	Hegzadekanoik asit metil ester	Ester	54.17	0.09	1928	1928
108	Rimuen	Diterpen	54.62	0.05	1942	1953
109	Bulunamadı		54.89	0.07	1950	
110	Hegzadekanoik asit	Yağ Asidi	55.63	0.89	1973	1973
111	Eikosan	Hidrokarbon	56.52	0.04	2001	2000
112	Oktadekanal	Aldehid	57.23	0.04	2023	2024
113	$\alpha$ -Springen	Diterpen	57.58	0.33	2035	2019
114	Oleik asit metil ester	Ester	59.31	0.04	2090	2087
115	Linoleik asit metil ester	Ester	59.53	0.03	2097	2097
116	Heneikosan	Hidrokarbon	59.65	0.05	2101	2100
117	Linolenik asit metil ester	Ester	59.74	0.09	2104	2105
118	Fitol	Diterpenoid	60.27	8.49	2122	2122
119	Metil stereat	Ester	60.76	0.10	2139	2139
120	Linoleik asit	Yağ Asidi	61.00	0.47	2147	2147
121	Dokosan	Hidrokarbon	61.97	8.80	2197	2200
122	Bulunamadı		63.55	0.10	2233	
123	(Z)-9-Trikosen	Hidrokarbon	65.10	0.30	2285	2281
124	Trikosan	Hidrokarbon	65.63	0.23	2302	2300
125	Eikosoik asit metil ester	Ester	66.62	0.10	2330	2332
	Toplam			100		

*R. petraeum* yaprak örneklerinden izole edilen uçucu yağdaki ana bileşiklerin (*E*)-2-Hegzenal (%52.90), 1-Okten-3-ol (%10.75), dokosan

(%8.80) ve fitol (%8.49) olduğu saptanmıştır. Yaprak örneklerinde en fazla bulunan ana bileşiğin (*E*)-2-Hegzenal olduğu bulunmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. *R. petraeum* yaprak uçucu yağının GC-MS kromatogramı ve ana bileşenleri

Figure 4. GC-MS chromatogram and main components of *R. petraeum* leaf essential oil

Tablo 3'te, *R. petraeum* bitkisinin yaprak örneklerinde yapılan analiz sonuçlarına göre yapıları aydınlatılan 125 adet bileşik 14 grup olarak sınıflandırılmaları belirlenmiştir. Bu sınıflardan tespit edilenler ve içerdikleri bileşik sayısı sırasıyla aldehitler 29, alkoller 10, esterler 13, hidrokarbonlar 13, ketonlar 6, monoterenler 8,

monoterpenoidler 14, seskiterpenler 8, seskiterpenoidler 4, diterpenler 2, diterpenoidler 1, terpen benzeri 3, yağ asitler 3, diğer bileşikler 5 ve bilinmeyenler 5 adet olarak bulunmuştur. *R. petraeum* bitkisinin yaprak örneklerinin analizi sonucunda en fazla bulunan kimyasal sınıf %55.98 ile aldehitler olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3. *R. petraeum* yapraklarında bulunan bileşiklerin kimyasal sınıflandırılması

Table 3. Chemical classification of compounds found in *R. petraeum* leaves

Bileşik Sınıfı	Bileşik Sayısı	% Oranı	Ana Bileşen
Aldehitler	29	55.98	( <i>E</i> )-2-Hegzenal
Alkoller	10	14.40	1-Okten-3-ol
Esterler	13	1.08	( <i>Z</i> )-3-Hegzen-1-ol benzoat
Hidrokarbonlar	13	10.60	Dokosan
Ketonlar	7	0.81	1-Asetiladamantan
Monoterpen	8	0.89	$\alpha$ -Terpinolen
Monoterpenoid	14	1.71	<i>trans</i> - $\beta$ -Ionon
Seskiterpen	8	1.24	$\alpha$ -Farnesen
Seskiterpenoid	4	0.34	( <i>E</i> )-Dendrolasin
Diterpen	2	0.33	$\alpha$ -Springen
Diterpenoid	1	8.49	Fitol
Terpen Benzeri	3	0.22	<i>cis</i> -Jasmon
Yağ Asitler	3	1.65	Hegzadekanoik asit
Diğerleri	5	1.60	2-Etil furan
Bilinmeyenler	5	0.66	
<b>Toplam</b>	<b>125</b>	<b>100</b>	

*R. petraeum* bitkisinin yapraklarının uçucu yağına ait antioksidan analiz sonuçları ve biyoaktif bileşenleri Tablo 4'te verilmiştir. Analiz sonuçları 100 mL numune üzerinden verilmiştir. Radikal süpürme miktarları (DPPH) 18.73 mg AA/100 mL

olarak tespit edilmiştir. Aynı örneklere ait DDPH % inhibisyon oranları %4.38 olarak değişmiştir. Bu sonuç Trolox %97.38 ve AA %98.01 standartları ile karşılaştırıldığında oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Örneklerin ABTS kapasite 21.31 mg



AA/100 mL aralığında saptanmıştır. ABTS % inhibisyon oranı %10.46 arasında değişmiştir. Bu sonuç AA %95.01 standartları ile karşılaştırıldığında yine düşük olduğu tespit edilmiştir. FRAP kapasitesi ise 6.50 mg FeSO<sub>4</sub>/100 mL olarak belirlenmiştir (Tablo 4). Çalışmamızda

örneklerin toplam fenolik madde miktarları (TPC) 66.37 mg GA/100 mL olarak saptanmıştır. Toplam flavonoid madde miktarları (TFC) 1.51mg QE/100 mL olarak belirlenmiştir. Toplam antioksidan madde miktarları (TAC) 295.43 mg AA/100 mL olarak bulunmuştur.

**Tablo 4.** *R. petraeum* bitkisinden elde edilen uçucu yağın antioksidan kapasite miktarları ve biyoaktif bileşenleri

**Table 4.** Antioxidant capacity amounts and bioactive components of essential oil obtained from *R. petraeum* plant

Yaprak	Antioksidan kapasite miktarları				
	DPPH		ABTS		FRAP
	mg AA /100 mL	% İnhibisyon	mg AA/100 mL	% İnhibisyon	mg FeSO <sub>4</sub> /100 mL
	18.73±5.88	4.38±1.37	21.31±1.79	10.46±0.88	6.50±0.06
Yaprak	Biyoaktif bileşenleri				
	TPC mg GA/100 mL	TFC mg QE /100 mL		TAC mg AA/100 mL	
	66.37±1.25	1.51±0.01		295.43±2.57	

\*: Sonuçların ortalaması, \*\*±: Standart hata, \*\*\*: Önemlilik düzeyi (P < 0.05)

Çalışma sonunda *R. petraeum* bitkisinin yapraklarındaki uçucu yağ örneklerinde kullanılan mikroorganizmalara karşı herhangi bir antimikrobiyal aktivite göstermedikleri belirlenmiştir.

#### 4. Tartışma

##### 4. Discussion

Kendir vd. (2018) *R. multiflorum*, *R. alpinum*, *R. orientale*, *R. petraeum* ve *R. rubrum* yapraklarından elde ettikleri uçucu yağ verimlerini sırasıyla %0.03, %0.02, %0.05, %0.01 ve %0.02 bulduklarını ifade etmişlerdir. Aynı çalışmada *R. petraeum* yaprak uçucu yağının ana bileşenlerini Hegzadekanoik asit (%13.8), 1-Okten-3-ol (%13.3), (Z)-3-hegzanal (%11.6), fitol (%5.3) ve analiz edilen uçucu yağda yapısı aydınlatılan bileşiklerin yüzde oranının %87.3 olduğunu bildirmişlerdir. Uçucu yağda yüzde olarak en fazla bulunan kimyasal sınıfların yağ asit ve esterleri (%20.3), aldehytlar (%15.2), alkoller (%14.9), seskiterpenoidler (%10.7), monoterpenoidler (%6.6), diterpenler (%5.8), seskiterpenler (%0.5), monoterpenler (%0) olduğunu ifade etmişlerdir (Kendir vd., 2018). Çalışmada elde edilen ana bileşen ve kimyasal sınıfların bizim çalışmamızdaki sonuçlarla benzer olduğu görülmektedir (Tablo 2 ve Tablo 3). Kiliç vd. (2008), *Ribes nigrum* L. yaprakları ile yaptıkları araştırmada uçucu yağ ana bileşenlerinin en yüksek  $\beta$ -karyofilen (%12.9), hegzadekanoik asit (%10.7) ve  $\alpha$ -humulen (%10.2) olarak bulmuşlardır. Aynı çalışmada analiz edilen uçucu yağda yapısı aydınlatılan bileşiklerin yüzde oranının %96.1 olarak tespit etmişlerdir. Kültüre edilen *Ribes*

*nigrum* L. yaprakları ile yapılan farklı bir çalışmada uçucu yağ verimi %0.12 olarak bulduklarını, yapısı aydınlatılan bileşiklerin yüzde oranının %99.6 olduğunu bildirmişlerdir (Stević vd., 2010). Stević vd. (2010) yapraklarda bulunan ana bileşenlerin  $\delta$ -3-karen (%18.7),  $\beta$ -karyofilen (%17.7), sabinen (%11.6), *cis*- $\beta$ -osimen (%10.6) ve  $\alpha$ -terpinolen (%10.6) olduğunu rapor etmişlerdir.

*R. petraeum* ile aynı cinse ait olan *Ribes nigrum* L. yapraklarındaki bileşikler arasında ve kimyasal bileşenlerin sınıflandırılmasında farklılıklar olduğu, bunun sebebinin ise bitki türü, yetiştirme yeri, iklim, doğal varyasyon, toplama zamanı, depolama, analiz parametreleri gibi birçok faktör sayılabilir. Çünkü her bir bitki farklı kimyasal bileşik üretebilmektedir. El-Hawary vd. (2018), uçucuların bileşimindeki farklılıkların farklı çevre koşullarına, yetiştirme ve hazırlama yöntemlerine bağlı olduğunu belirlemişlerdir. Qiang & Wen-Hu (2020), farklı bileşenler bitkilerin yaprak ve gövdelerinin uçucu yağı arasında farklılıklar oluşturduğunu bildirmişlerdir.

Viuda-Martos vd. (2010), DPPH aktivitesi ile ilgili yaptıkları araştırmalarında; uçucu yağlara ait DPPH aktivite değerlerini; karanfil uçucu yağında 50 mg/mL'de güçlü radikal temizleme etkisini %98.74, kekikte ise %93.94 olarak bulduklarını belirtmişlerdir. Yapılan pozitif kontrollerinde BHT ve AA için sırasıyla %97.69 ve %97.92 bulunduğunu ifade etmişlerdir (Viuda-Martos vd., 2010). Yapmış olduğumuz çalışmada DPPH radikal süpürme aktiviteleri örneklerimizde oldukça düşük çıkmıştır.

ABTS testi ile ilgili çalışmalarda, yetişkin yaprak esansiyel yağı için  $13.0 \pm 0.6$  mg/L, kök esansiyel yağı  $43.5 \pm 1.4$  mg/L, meyve esansiyel yağı  $51.0 \pm 1.3$  mg/L ve olgunlaşmamış çiçek esansiyel yağı  $79.3 \pm 1.9$  mg/L olarak bulunmuştur (Puertas-Mej'ia vd., 2002). İndirgeme gücü genellikle indirgeyicilerin varlığı ile ilişkili olup, hidrojen atomu bağıışı yoluyla serbest radikal zincirini kırarak antioksidan özelliklere sahiptir. Bu nedenle, gücü azaltmak ve DPPH/ABTS'nin radikalleri süpürmesi arasında iyi bir genel korelasyon bulunmalıdır (Puertas-Mej'ia vd., 2002).

FRAP antioksidan kapasite hakkında yapılan bir çalışmada, uçucu yağın FRAP antioksidanların çalışmasında; karanfil 62.27, kekik 60.84, limon 11.25, tarçın 12.55 ve melisa 72.76  $\mu\text{M Fe}/100$  g FRAP değeri bulunmuştur (Olszowy & Dawidowicz, 2016). Çalışmış olduğumuz bitki örneklerinin uçucu yağlarına ait FRAP değerleri literatürdeki bazı bitkilere ait uçucu yağlarının FRAP değerleri ile aynı seviyelerde çıkmıştır.

Yapılan farklı bir araştırmada; toplam fenol içeriği (TPC) karanfil'de  $89.89 \pm 0.34$  ve kekik türünde ise  $78.38 \pm 0.24$  mg/100 mL olarak bulunmuştur (Viuda-Martos vd., 2010). Örneklerden elde etmiş olduğumuz sonuçlar literatürdeki verilen toplam fenolik madde değerleriyle örtüşmektedir. Fenolik bileşiklerin antioksidan aktivite de dahil olmak üzere çoklu biyolojik etkilere sahip olduğu bildirilmiştir. Serbest radikalleri süpürme veya oluşumunu önleme gibi davranabilirler (Sánchez-Moreno, 2002). Uçucu yağların, bitki için hafif bir strese benzeyen bir sinyali tetikleyen "sinyal bileşikleri" olarak hareket edeceği varsayılmaktadır. Bitki, savunma yanıtı olarak ek fenolik bileşikler, flavonoidler üretir ve antioksidan aktivitesini artırır (Sharma & Tripathi, 2006).

Toplam flavonoid miktarı hakkında yapılan bir çalışma sonucunda; limon kabuğunun uçucu yağındaki toplam flavonoid miktarı  $11.72 \pm 1.82$  mg/g rutin eşdeğeri olarak bulunmuştur (Moosavy vd., 2017). Çalışmamızda örneklerdeki flavonoid içerikleri düşük bulunmuştur.

Puertas-Mej'ia vd. (2002) yaptıkları bir makalede; *Origanum vulgare* L. 25.1, *Rosmarinus officinalis* L. 17.7 ve *Pimpinella anisum* L. 24.3 bitkilerinin uçucu yağlarına ait TA (mmol Trolox/oil) olarak bulduklarını ifade etmişlerdir (Puertas-Mej'ia vd., 2002). Antioksidan besinlerin oksidatif stresle mücadelede rolü, kanser, kardiyovasküler ve nörolojik patolojilerde dahil olmak üzere çok

sayıda hastalıkta iyi bilinmektedir. Bu anlamda, araştırmacılar, meyve ve sebze bakımından zengin diyetlerin tüketiminden sonra serum TAC'inde bir artış olduğunu maddi olarak kanıtlamışlardır. Örneğin, yüksek domates tüketimi, sağlıklı deneklerin toplam antioksidan kapasitesini potansiyel olarak arttırmıştır (Ferrari & Torres, 2003).

## 5. Sonuçlar

### 5. Conclusions

*R. petraeum* bitkisinin yapraklarında uçucu yağ miktarı %0.47 olarak tespit edilmiştir. *R. petraeum* bitki yapraklarından elde edilen uçucu yağ bileşiminin GC-MS/FID analizinde; yapısı aydınlatılan bileşen sayısı 125 bileşen olarak tespit edilmiştir. Bitki kısmının uçucu yağlarında adet olarak en fazla bileşik bulunan kimyasal sınıf aldehitler olarak saptanmıştır. Uçucu yağlarında % oran olarak en yüksek bileşik bulunan kimyasal sınıf yine aldehitler olarak belirlenmiştir. *R. petraeum* bitkisinin yaprak uçucu yağlarında bulunan ana bileşen (*E*)-2-hegzanal olarak bulunmuştur.

*R. petraeum* yaprak uçucu yağının (DPPH) serbest radikal giderme miktarları ortalama olarak 18.73 mg AA/100 mL tespit edilmiştir. Yaprak uçucu yağının radikal katyonu giderme (ABTS) kapasite değeri ortalama olarak 21.31 mg AA/100 mL olarak elde edilmiştir. FRAP kapasite miktarı ortalama olarak 6.50 mg FeSO<sub>4</sub>/100 mL belirlenmiştir. Toplam fenolik madde miktarları ortalama olarak 66.37 mg GAE/100 mL belirlenmiştir. *R. petraeum* yaprak uçucu yağının toplam flavonoid madde miktarları ortalama olarak 1.51 mg QE/100 mL saptanmıştır. Toplam antioksidan madde miktarları ortalama olarak 295.43 mg AA/100 mL bulunmuştur.

*R. petraeum* bitki yaprak örneklerinden elde edilen uçucu yağlara ait antimikrobiyal aktivite sonuçlarına göre mikroorganizmalarda herhangi bir zon oluşumu tespit edilememiştir.

## Teşekkür

### Acknowledgement

Bu makale, Gümüşhane Üniversitesinde Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZ tarafından hazırlanmış olan "Gümüşhane Yöresi Bazı Odun Dışı Bitkisel Ürünlerinin Uçucu Yağlarının Elde Edilmesi, Kimyasal İçerikleri ve Biyolojik Aktiviteleri" başlıklı projenin bir kısmını oluşturmaktadır. Bu araştırma, Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel

Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 19.B0122.02.01 proje koduyla desteklenmiştir.

### Yazar katkısı

Author contribution

Çalışmadaki bitki örneklerinin temin edilmesi Muhammed Said Fidan ve Mehmet Öz, uçucu yağ elde edilmesi ve analizleri Osman Üçüncü, Muhammed Said Fidan ve Mehmet ÖZ, antioksidan aktivite tayinleri Cemalettin Baltacı, antimikrobiyal aktivite tayinleri Şeyda Merve Karataş tarafından gerçekleştirilmiştir. Verilerin yorumlanması ve makalenin yazımında beş yazar eşit oranda katkı sağlamıştır.

### Etik beyanı

Declaration of etichal code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

### Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### Kaynaklar

References

- Ahmed, D., Khan, M. M., & Saeed, R. (2015). Comparative analysis of phenolics, flavonoids, and antioxidant and antibacterial potential of methanolic, hexanic and aqueous extracts from *Adiantum caudatum* leaves. *Antioxidants*, 4(2), 394-409. <https://doi.org/10.3390/antiox4020394>
- Chiej, R. (1988). *The Macdonald Encyclopedia of Medicinal Plants* (1st edition). London: Macdonald & Co. Ltd.
- Delazar, A., Khodaie, L., Afshar, J., Nahar, L., & Sarker, S. D. (2010). Isolation and free-radical-scavenging properties of cyanidin 3-O-glycosides from the fruits of *Ribes biebersteinii* Berl. *Acta Pharmaceutica*, 60(1), 1-11. <https://doi.org/10.2478/v10007-010-0007-x>
- Delazar, A., Lasheni, S., Fathi-Azad, F., Nahar, L., Rahman, M. M., Asnaashari, S., Mojarab, M., & Sarker, S.D. (2010a). Free-radical scavenging flavonol 3-O-glycosides from the leaves of *Ribes biebersteinii* Berl. *Records of Natural Products*, 4(2), 96-100.
- El-Hawary, S. S., El-Tantawi, M. E., Kirolos, F. N., & Hammam, W. E. (2018). Chemical composition, in vitro cytotoxic and antimicrobial activities of

volatile constituents from *Pyrus communis* L. and *Malus domestica* Borkh. fruits cultivated in Egypt. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 21(6), 1642-1651. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.1553637>

- Ferrari, C. K. B., & Torres, E. A. F. S. (2003). Biochemical pharmacology of functional foods and prevention of chronic diseases of aging. *Biomed Pharmacother*, 57, 251-260. [https://doi.org/10.1016/s0753-3322\(03\)00032-5](https://doi.org/10.1016/s0753-3322(03)00032-5)
- Gamez-Meza, N., Noriega-Rodríguez, J. A., Medina-Juárez, L. A., Ortega-García, J., Cázarez-Casanova, R., & Angulo-Guerrero, O. (1999). Antioxidant activity in soybean oil of extracts from thompson grape bagasse, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76, 1445-1447.
- Ikuta, K., Hashimoto, K., Kaneko, H., Mori, S., Ohashi, K., & Suzutani, T. (2012). Anti-viral and antibacterial activities of an extract of blackcurrants (*Ribes nigrum* L.). *Microbiology and Immunology*, 56(12), 805-809. <https://doi.org/10.1111/j.1348-0421.2012.00510.x>
- Kasangana, P. B., Haddad, P. S., & Stevanovic, T. 2015. Study of polyphenol content and antioxidant capacity of *Myrianthus Arboreus* (Cecropiaceae) root bark extracts. *Antioxidants*, 4(2): 410-426. <https://doi.org/10.3390/antiox4020410>
- Kendir, G., Köroğlu, A., Özek, G., Özek, T., & Başer, K. H. C. (2018). Glandular trichome structures and chemical composition of the volatiles of five *Ribes* species from Turkey. *Journal of Essential Oil Research*, 31(2), 111-119. <https://doi.org/10.1080/10412905.2018.1547226>
- Kiliç, C. S., Koyuncu, M., Özek, T., & Başer, K. H. C. (2008). Essential Oil of the Leaves of *Ribes nigrum* L. from Turkey. *Journal of Essential Oil Research*, 20(6), 512-514. <https://doi.org/10.1080/10412905.2008.9700074>
- Küçük, M., Güleç, C., Üçüncü, O., Yaşar, A., Gaydan, F., Coşkunçebi, K., Terzioğlu, S., & Yaylı, N. (2006). Chemical composition and antimicrobial activities of the essential oils of *Teucrium chamaedrys* subsp. *chamaedrys*, *T. Orientale* var. *puberulens*, and *T. Chamaedrys* subsp. *lydium*. *Pharmaceutical Biology*, 44(8), 592-599. <https://doi.org/10.1080/13880200600896868>
- Matuschek, E., Brown, D. F. J., & Kahlmeter, G. (2014). Development of the EUCAST disk diffusion antimicrobial susceptibility testing method and its implementation in routine microbiology laboratories. *Clinical Microbiology and Infection*, 20(4), O255-O266. <https://doi.org/10.1111/1469-0691.12373>

- Moosavy, M. H., Hassanzadeh, P., Mohammadzadeh, E., Mahmoudi, R., Khatibi S. A., & Mardani K. (2017). Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of Lemon (*Citrus limon*) peel in vitro and in a food model. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, 4(2), 42-48.
- Ogm. (2021). *Orman Genel Müdürlüğü 2020 Yılı İdare Faaliyet Raporu*. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye. <https://www.ogm.gov.tr/faaliyet-raporu>
- Olszowy, M., & Dawidowicz, A.L. (2016). Essential oils as antioxidants: their evaluation by DPPH, ABTS, FRAP, CUPRAC, and  $\beta$ -carotene bleaching methods. *Monatshefte für Chemie*, 147(12), 2083-2091. <https://doi.org/10.1007/s00706-016-1837-0>
- Puertas-Mejía, M., Hillebrand, S., Stashenko, E., & Winterhalter, P. (2002). In vitro radical scavenging activity of essential oils from Columbian plants and fractions from oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil. *Flavour and Fragrance Journal*, 17, 380-384. <https://doi.org/10.1002/ffj.1110>
- Qiang, W., & Wen-Hu, Guo. (2020). Chemical components of volatile oil from leaves and stems of *Celtis sinensis* Pers. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 23(4), 772-778. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1794984>
- Sağdıç, O., & Özcan, M. (2002). Antibacterial activity of Turkish Spice Hydrosols. *Food Control*, 14(3), 141-143. [http://dx.doi.org/10.1016/S0956-7135\(02\)00057-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0956-7135(02)00057-9)
- Sağdıç, O., Ozturk, I., Ozkan, G., Yetim, H., Ekici, L., & Yilmaz, M. (2011). RP-HPLC-DAD analysis of phenolic compounds in pomace extracts from five grape cultivars: Evaluation of their antioxidant, antiradical and antifungal activities in orange and apple juices, *Food Chemistry*, 126(4), 1749-1758. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.075>
- Sanchez-Moreno, C., Larrauri, J. A., & Saura-Calixto, F. (1998). A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76(2), 270-276. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199802\)76:2<270::AID-JSFA945>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199802)76:2<270::AID-JSFA945>3.0.CO;2-9)
- Sánchez-Moreno, C. (2002). Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Food Science and Technology International*, 8(3), 121-137. <https://doi.org/10.1106/108201302026770>
- Sharma, N., & Tripathi, A. (2006). Fungitoxicity of the essential oil of *citrus sinensis* on postharvest pathogens. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 22(6), 587-593. <https://doi.org/10.1007/s11274-005-9075-3>
- Stević, T., Šavikin, K., Ristić, M., Zdunić, G., Janković, T., Krivokuća-Đokić, D., & Vulić, T. (2010). Composition and antimicrobial activity of the essential oil of the leaves of black currant (*Ribes nigrum* L.) cultivar Čačanska crna. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 75(1), 35-43. <https://doi.org/10.2298/JSC1001035S>
- Üçüncü, O., Cansu, T. B., Özdemir, T., Karaoğlu, Ş. A., & Yaylı, N. (2010). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils of Mosses (*Tortula muralis* Hedw., *Homalothecium lutescens* (Hedw.) H. Rob., *Hypnum cupressiforme* Hedw., *Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb.) from Turkey. *Turkish Journal of Chemistry*, 34(5), 825-834. <https://doi.org/10.3906/kim-1002-62>
- Viuda-Martos, M., Navajas, Y. R., Zapata, E. S., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez J. A. (2010). Antioxidant activity of essential oils of five spice plants widely used in a Mediterranean diet. *Flavour and Fragrance Journal*, 25, 13-19. <https://doi.org/10.1002/ffj.1951>

## Alternatif çatıdan elde edilen dual Smarandache eğrileri ve regle yüzeyleri

### *Dual Smarandache curves and ruled surfaces obtained from the alternative frame*

Veysi CENGİZ<sup>1,a</sup>, Hatice KUŞAK SAMANCI<sup>\*2,b</sup>

<sup>1</sup> Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Matematik Bölümü, 13000, Bitlis

<sup>2</sup> Bitlis Eren Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 13000, Bitlis

• Geliş tarihi / Received: 03.10.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 07.02.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 13.02.2022

#### Öz

E-Study teoremi gereği dual uzayda dual birim küre üzerinde seçilen dual Smarandache eğrisi Öklid-3 uzayındaki yönlü doğruların oluşturmuş olduğu regle yüzeye karşılık gelir. Bu çalışmada alternatif çatının dual bileşenlerinin yardımıyla oluşturulan dual Smarandache eğrilerine karşılık gelen regle yüzeylerine ait bazı karakterizasyonlar incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Alternatif çatı, Dual eğri, Dual Smarandache eğrisi, Dual uzay, E-Study teoremi, Smarandache eğrisi

#### Abstract

According to the E-Study theorem, the dual Smarandache curve chosen on the dual unit sphere in dual space corresponds to the ruled surface formed by the directional lines in the Euclidean 3-space. In this study, some characterizations of ruled surfaces corresponding to dual Smarandache curves constructed with the help of dual components of the alternative frame are investigated.

**Keywords:** Alternative frame, Dual curve, Dual Smarandache curve, Dual space, E-Study theorem, Smarandache curve

<sup>\*b</sup> Hatice KUŞAK SAMANCI; hkusak@beu.edu.tr; Tel: (0541) 344 97 91; orcid.org/ 0000-0001-6685-236X

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0001-7843-6793

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Yüzeyler teorisi üzerine ilk inceleme Monge (1795) tarafından yazılmıştır (Monge, 1809). Serret-Frenet vektörleri sayesinde eğrinin eğrilik ve burulması hesaplanabilmektedir. Adını Jean Frédéric Frenet (1847) ve Joseph Alfred Serret (1851)'den alan Serret-Frenet çatısının elemanları olan  $\{\vec{T}, \vec{N}, \vec{T} \wedge \vec{N} = \vec{B}\}$  vektörleri sırasıyla bir  $\alpha$  regüler eğrisinin teğet, normal ve bu iki vektörün vektörel çarpımı ile elde edilen binormal vektördür (Izumiya & Takeuchi, 2004; Hacısalihoğlu, 1983a, 1983b). Eğrinin bir alternatif hareketli çatısı  $\{\vec{N}, \vec{C}, \vec{W}\}$  olup bu çatı 2016 yılında Uzunoğlu ve arkadaşları tarafından oluşturulmuştur (Uzunoğlu, 2016). Özel bir eğri çeşidi olan Smarandache eğrileri de farklı uzay ve çatılar üzerinde çalışma yapılan özel bir eğri çeşididir (Gürses vd., 2016; Karaman vd., 2014). Konum vektörü başka bir düzgün eğri üzerindeki Serret-Frenet çatısı vektörlerinden oluşan düzenli bir eğriye Smarandache eğrisi denir (Ascbacher, 1997). A.T. Ali, Öklid uzayında bazı özel Smarandache eğrilerini incelemiştir (Ali, 2010). Bektaş ve Yüce (2013), üç boyutlu Öklid uzayında özel Smarandache eğrilerinin Darboux çatısını incelemiştir (Bektaş & Yüce, 2013). Regle yüzeyleri ilk olarak Monge (1850) tarafından tanımlansa da bunun üzerine çalışmalar Guggenheimer tarafından yapılmıştır. Karmaşık sayılarla Öklid düzleminde sadece dönme işleminin yapılabilmesi öteleme hareketinin yapılamaması sonucu araştırmacılar bir arayış içine girmişlerdir. Bu arayış sonunda hem dönme hem de öteleme hareketlerinin yapılabilmesini sağlayan dual sayıların keşfi sağlanmıştır. Dual uzayın elemanları olan dual sayılar ilk kez 1873 yılında W.K. Clifford (1873) tarafından keşfedilmiştir (Clifford, 1873). E-Study dual sayıları dual vektörleri oluşturmak için kullanmış ve birim dual küre ile yönlü doğru arasındaki bağıntıyı açıklamıştır (Study, 1903). Dual sayılar ve dual vektörler uygulamalı geometride robotik hareketleri kolay bir biçimde gerçekleştirebilmek için kullanılmaktadır. Baky (2002) dual uzayda Blaschke çatısını ve dual Serret-Frenet çatısını tanımlamıştır (Abdel-Baky, 2002). Dual küresel eğriler Öklid uzayında bir regle yüzeyine karşılık geldiği için birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır (Aslan Güven, 2010; Yaylı & Saraçoğlu, 2012; Yılmaz vd., 2010). Yaylı ve Saraçoğlu dual uzayda dual küresel eğrilere karşılık gelen regle yüzeylerini çalışmıştır (Yaylı & Saraçoğlu, 2012). Bu çalışmada dual NCW çatısının dual bileşenleri

yardımlarıyla oluşturulmuş regle yüzeylere ait bazı karakterizasyonlar incelenmiştir.

## 2. Materyal ve metot

### 2. Material and method

Öklid 3-uzayında birim hızlı bir  $\alpha$  eğrisinin Frenet vektörleri, Frenet türev formülleri ve eğrilikleri sırasıyla,

$$\begin{aligned}\vec{T} &= \vec{\alpha}' \\ \vec{N} &= \frac{\vec{\alpha}''}{\|\vec{\alpha}''\|}, \vec{B} = \vec{T} \wedge \vec{N} \\ \vec{T}' &= \kappa \vec{N}, \vec{N}' = -\kappa \vec{T} + \tau \vec{B}, \vec{B}' = -\tau \vec{N}\end{aligned}$$

şeklinde verilir. Burada Serret-Frenet çatısında  $\kappa$  eğrilik ve  $\tau$  burulmayı verir. Öklid 3-uzayında vektörel çarpım  $\wedge$  sembolü ile gösterilir.  $\alpha = \alpha(s)$  birim hızlı eğrinin Bishop formülleri ve eğrilikleri

$$\begin{aligned}\vec{T}' &= k_1 \vec{N}_1 + k_2 \vec{N}_2, \vec{N}'_1 = -k_1 \vec{T}, \vec{N}'_2 = -k_2 \vec{T} \\ k_1 &= \kappa \cos \varphi(s), \quad k_2 = \kappa \sin \varphi(s)\end{aligned}$$

ile verilir.

Burada Bishop çatısı, Frenet çatısının  $\varphi(s) = -\int \tau ds$  açısı kadar döndürülmüş halidir (Bishop, 1975; Karacan 2008; Bükcü & Karacan, 2008a, 2008b, 2009, 2010; Yılmaz & Turgut, 2010; Samancı & Kocayığıt, 2019).

$\alpha(s)$  birim hızlı eğrisinin  $\{\vec{T}, \vec{N}, \vec{B}\}$  Frenet çatısından elde edilen

$$\begin{aligned}V_{TN}(s) &= \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{T} + \vec{N}), \\ V_{TB}(s) &= \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{T} + \vec{B}) \\ V_{NB}(s) &= \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{N} + \vec{B}), \\ V_{TNB}(s) &= \frac{1}{\sqrt{3}}(\vec{T} + \vec{N} + \vec{B})\end{aligned}$$

eğrilere, sırasıyla,  $\vec{T}\vec{N}$  Smarandache eğrisi,  $\vec{T}\vec{B}$  Smarandache eğrisi,  $\vec{N}\vec{B}$  Smarandache eğrisi,  $\vec{T}\vec{N}\vec{B}$  Smarandache eğrisi denir (Gürses vd., 2016; Karaman vd., 2014).

1995 yılında Scofield,  $\vec{C}$  vektörünü tanımlamış (Scofield, 1995), Uzunoğlu vd (Uzunoğlu vd., 2016)  $\{\vec{N}, \vec{C}, \vec{N} \wedge \vec{C} = \vec{W}\}$  şeklinde yeni bir alternatif hareketli çatı oluşturmuşlardır. Bu alternatif çatıda verilen  $\vec{W}$  birim Darboux vektörü olmak üzere  $\vec{C} = \vec{W} \wedge \vec{N}$  ile verilmektedir. Alternatif hareketli çatının türev vektörleri arasında

$$\vec{N}' = f\vec{C}, \quad \vec{C}' = -f\vec{N} + g\vec{W}, \quad \vec{W}' = -g\vec{C}$$

bağıntısı vardır. Burada  $f, g, \sigma$  ve  $H$  ifadeleri

$$f = \kappa\sqrt{1+H^2}, \quad g = \sigma f,$$

$$H = \frac{\tau}{\kappa}, \quad \sigma = \frac{H'}{\kappa(1+H^2)^{\frac{3}{2}}} = sbt$$

şeklinde verilir (Uzunoğlu vd., 2016). Ayrıca Frenet çatısı ve alternatif çatı arasındaki bağıntı

$$\vec{C} = -\bar{\kappa}\vec{T} + \bar{\tau}\vec{B} \qquad \vec{T} = -\bar{\kappa}\vec{C} + \bar{\tau}\vec{W}$$

$$W = \bar{\tau}\vec{T} + \bar{\kappa}\vec{B} \qquad B = \bar{\tau}\vec{C} + \bar{\kappa}\vec{W}$$

eşitlikleri ile elde edilir. Burada  $\bar{\kappa} = \frac{\kappa}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}$  ve  $\bar{\tau} = \frac{\tau}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}$  olarak alınır ve  $\vec{N}$  asli normal vektörü her iki çatı için de aynıdır (Şenyurt & Çalışkan, 2020).

Yaylı ve arkadaşları birim hızlı bir eğrinin normal vektörü boyunca alternatif hareketli çatısının keyfi bir  $\theta$  açısı kadar döndürülmesiyle elde edilen ve N-Bishop çatısı olarak adlandırdıkları yeni bir alternatif hareketli çatı tanımlamışlardır.  $\theta$  açısı  $\vec{N}_1$  ve  $\vec{C}$  vektörleri arasındaki açı olmak üzere  $\{\vec{N}, \vec{C}, \vec{W}\}$  çatısı ve N-Bishop çatısı  $\{\vec{N}, \vec{N}_1, \vec{N}_2\}$  arasındaki bağıntı

$$\vec{N} = \vec{N},$$

$$\vec{C} = \cos \theta (s)\vec{N}_1 + \sin \theta (s)\vec{N}_2,$$

$$\vec{W} = -\sin \theta (s)\vec{N}_1 + \cos \theta (s)\vec{N}_2$$

ile verilir. N-Bishop çatısının türev denklemleri  $\vec{N}' = k_1\vec{N}_1 + k_2\vec{N}_2$ ,  $\vec{N}_1' = -k_1\vec{N}$ ,  $\vec{N}_2' = -k_2\vec{N}$  eşitlikleri ile elde edilir. Burada N-Bishop çatısının eğrilikleri  $k_1 = f \cos \theta (s)$  ve  $k_2 = f \sin \theta (s)$  dir. Ayrıca  $\theta = \int_{s_0}^s g(t) dt = \arctan\left(\frac{k_2}{k_1}\right)$  olarak da elde edilir (Keskin & Yaylı, 2017).

$\alpha(s)$  birim hızlı eğrisinin  $\{\vec{N}, \vec{C}, \vec{W}\}$  alternatif çatısından elde edilen

$$V_{NC}(s) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{N} + \vec{C}),$$

$$V_{NW}(s) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{N} + \vec{W}), \quad V_{CW}(s) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{C} + \vec{W}),$$

$$V_{NCW}(s) = \frac{1}{\sqrt{3}}(\vec{N} + \vec{C} + \vec{W})$$

eğrilere sırasıyla  $\vec{N}\vec{C}$  Smarandache eğrisi,  $\vec{N}\vec{W}$  Smarandache eğrisi  $\vec{C}\vec{W}$  Smarandache eğrisi ve  $\vec{N}\vec{C}\vec{W}$  Smarandache eğrisi denir. Bu eğrilere ait bazı özellikler (Şenyurt & Çalışkan, 2015; Şenyurt vd. 2016a, 2016b; Şenyurt & Kaya, 2018; Çalışkan & Şenyurt, 2020; Şenyurt vd., 2021) kaynaklarında verilmiştir.

$\mathbb{D} = \{\hat{A} = a + \varepsilon a^* : a, a^* \in \mathbb{R}, \varepsilon \neq 0, \varepsilon^2 = 0\}$  cümlesinin elemanlarına dual sayı denir.  $\mathcal{E}$  bir dual birim olmak üzere dual sayılar cümlesinde toplama, çarpma, bölme ve eşitlik işlemleri, sırasıyla,

$$\hat{A} \pm \hat{B} = (a + b) \pm \varepsilon(a^* + b^*)$$

$$\hat{A} \cdot \hat{B} = ab + \varepsilon(ab^* + a^*b)$$

$$\frac{\hat{A}}{\hat{B}} = \frac{a}{b} + \varepsilon \frac{a^*b - ab^*}{b^2}$$

$$\hat{A} = \hat{B} \Leftrightarrow a = b \vee \varepsilon a^* = \varepsilon b^*.$$

eşitlikleri ile tanımlıdır. Dual sayılar halkası sıfır bölümlü olmadığından  $\mathcal{E}a^*$  elemanlarının tersi yoktur. Bu nedenle dual sayılar cümlesi bir cisim belirtmez sadece değişmeli bir halka belirtmektedir.  $\mathbb{D}^3 = \mathbb{D} \times \mathbb{D} \times \mathbb{D}$  cümlesi dual sayılar cümlesi üzerinde bir uzay yapısına ulaşır ve bu uzay  $\mathbb{D}$ -modül olarak isimlendirilir (Clifford, 1873).  $\hat{A} \neq (\mathbf{0}, a) \in \mathbb{D}$  olmak üzere  $\|\hat{A}\| = (1, 0)$  koşulunu sağlayan noktalar cümlesine birim dual vektör adı verilir. Dual kürenin dual noktaları üç boyutlu Öklid uzayında yönlü doğrulara birebir karşılık gelir (Study, 1903).

### 3. Bulgular

#### 3. Results

E-Study dönüşümü yardımıyla dual birim küre üzerinde seçilen  $\{\vec{N}, \vec{C}, \vec{W}\}$  alternatif hareketli çatısının elemanları ile dual uzayda çizilen kapalı eğriler  $\mathbb{E}^3$  Öklid uzayında bir regle yüzey temsil etmektedir. Buradan seçilen dual eğriler  $\vec{N} = \vec{N} + \varepsilon\vec{N}^*$ ,  $\vec{C} = \vec{C} + \varepsilon\vec{C}^*$ ,  $\vec{W} = \vec{W} + \varepsilon\vec{W}^*$  olmak üzere, bu eğrilerin belirttiği regle yüzeyler, sırasıyla, aşağıdaki gibidir:

$$\varphi_N(s, v) = \beta_N(s) + v\vec{N}(s), \quad \beta_N(s) = \vec{N} \wedge \vec{N}^*, \quad (1)$$

$$\varphi_C(s, v) = \beta_C(s) + v\vec{C}(s), \quad \beta_C(s) = \vec{C} \wedge \vec{C}^*, \quad (2)$$

$$\varphi_W(s, v) = \beta_W(s) + v\vec{W}(s), \quad \beta_W(s) = \vec{W} \wedge \vec{W}^*. \quad (3)$$

(1), (2), (3) ifadelerinde  $\alpha(s)$  yerine

$$\alpha_{NC}(s) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{N} + \vec{C})$$

vektörünün çizdiği eğri alınırsa vektörel moment vektörleri

$$\vec{N}^* = \vec{\alpha} \wedge \vec{N} = \left( \frac{\vec{N} + \vec{C}}{\sqrt{2}} \right) \wedge \vec{N} = -\frac{\vec{W}}{\sqrt{2}}$$

$$\vec{C}^* = \vec{\alpha} \wedge \vec{C} = \left( \frac{\vec{N} + \vec{C}}{\sqrt{2}} \right) \wedge \vec{C} = \frac{\vec{W}}{\sqrt{2}}$$

$$\vec{W}^* = \vec{\alpha} \wedge \vec{W} = \left( \frac{\vec{N} + \vec{C}}{\sqrt{2}} \right) \wedge \vec{W} = \frac{\vec{N} - \vec{C}}{\sqrt{2}}$$

şeklinde elde edilir. Bulunan bu değerler (1), (2), (3) denklemlerinde yerine yazılırsa yüzeylerinin denklemleri

$$\vec{\psi}_N(s, v) = \vec{N} \wedge \left( -\frac{\vec{W}}{\sqrt{2}} \right) + v\vec{N} = \frac{\vec{C}}{\sqrt{2}} + v\vec{N}$$

$$\vec{\psi}_C(s, v) = \vec{C} \wedge \left( \frac{\vec{W}}{\sqrt{2}} \right) + v\vec{C} = \frac{\vec{N}}{\sqrt{2}} + v\vec{C}$$

$$\vec{\psi}_W(s, v) = \vec{W} \wedge \left( \frac{\vec{N} - \vec{C}}{\sqrt{2}} \right) + v\vec{W} = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{N} + \vec{C}) + v\vec{W}$$

olur. Benzer şekilde  $\alpha(s)$  yerine

$$\alpha_{\vec{N}\vec{W}}(s) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{N} + \vec{W})$$

$$\alpha_{\vec{C}\vec{W}}(s) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{C} + \vec{W})$$

ve

$$\alpha_{\vec{N}\vec{C}\vec{W}}(s) = \frac{1}{\sqrt{3}}(\vec{N} + \vec{C} + \vec{W})$$

alındığından bu vektörlerin çizdiği eğriler kullanılarak (1), (2), (3) de verilen yüzeyler tekrar oluşturulur ve sonra da elde edilen yüzeylerin invaryantları hesaplanacaktır.

**Teorem 3.1.**  $\vec{NC}$  - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\vec{N}), (\vec{C}), (\vec{W})$  dual eğrilere çizgiler uzayında karşılık gelen kapalı regle yüzeylerin dağılma parametreleri sırasıyla

$$P_{\vec{N}} = \frac{g}{\sqrt{2}f}, P_{\vec{C}} = 0 \text{ ve } P_{\vec{W}} = \frac{-f}{\sqrt{2}g}$$

şeklinde verilir.

**İspat.**  $(\vec{N})$  dual eğrisinin belirttiği kapalı regle yüzeyinin dağılma parametresi

$$P_{\vec{N}} = \frac{\det((\vec{N} \wedge \vec{N}^*), \vec{N}, \vec{N}')}{\|\vec{N}'\|^2}$$

bağıntısından hesaplanır. Buradan  $P_{\vec{N}}$  dağılma parametresi

$$\det((\vec{N} \wedge \vec{N}^*), \vec{N}, \vec{N}') = \begin{vmatrix} \frac{-f}{\sqrt{2}} & 0 & \frac{g}{\sqrt{2}} \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \end{vmatrix} = \frac{fg}{\sqrt{2}}$$

eşitliğinden yararlanarak

$$P_{\vec{N}} = \frac{g}{\sqrt{2}f} \tag{4}$$

şeklinde bulunur. Benzer işlemler  $(\vec{C})$  ve  $(\vec{W})$  yüzeyleri için de yapılırsa

$$P_{\vec{C}} = 0 \text{ ve } P_{\vec{W}} = \frac{-f}{\sqrt{2}g}$$

olur. Bu teoremden, dayanak eğrisi  $(\vec{NC})$  Smarandache eğrisi ile üretilen  $(\vec{W})$  dual eğrisine karşılık gelen  $\vec{\psi}_{\vec{N}\vec{C}}$  kapalı regle yüzeyini için  $g = 0$  veya  $\frac{t}{\kappa} = sbt$  olması durumunda dağılma parametresinin hesaplanamadığı sonucu elde edilmektedir.

**Teorem 3.2.**  $\vec{NC}$  - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\vec{N}), (\vec{C}), (\vec{W})$  dual eğrilere çizgiler uzayında karşılık gelen kapalı regle yüzeylerin Gauss ve ortalama eğrilikleri sırasıyla

$$K_{\vec{N}} = -\frac{2f^2g^2}{(g^2 + 2v^2f^2)^2}, K_{\vec{C}} = 0,$$

$$K_{\vec{W}} = -\frac{g^2f^2}{2(f^2 + v^2g^2 - \sqrt{2}vfg)^2},$$

$$H_{\vec{N}} = \frac{gf^4}{\sqrt{2}(g^2 + v^2f^2)^3},$$

$$H_{\vec{C}} = \frac{fg(f-1) + \sqrt{2}v(gf' - fg')}{2\sqrt{2}v^2(f^2 + g^2)^{3/2}},$$

$$H_{\vec{W}} = \frac{(f - f' - 2f^2)(\sqrt{2}vfg - f) + g^2f(2v^2 - 3)}{4(v^2g^2 - \sqrt{2}vfg + f^2)^{3/2}}$$

bağıntısıyla verilir.

**İspat.**  $(\vec{N})$  dual eğrisinin belirttiği kapalı regle yüzeyinin Gauss ve ortalama eğriliğini bulmak için I. esas form ve II. esas form ile birlikte normal vektör alanı hesaplanmalıdır. Öncelikle  $\vec{N}$  eğrisinin sırasıyla  $s$  ve  $v$  parametrelerine göre yönlü türevleri alınmalıdır.

$\vec{\psi}_{\vec{N}s} = \left[ \frac{-f\vec{N} + g\vec{W}}{\sqrt{2}} + vf\vec{C} \right]$  ve  $\vec{\psi}_{\vec{N}v} = \vec{N}$  dir. Buradan yönlü türevlerin iç çarpımı yardımıyla I. esas formun katsayıları sırasıyla;

$$E = \langle \vec{\psi}_{\vec{N}s}, \vec{\psi}_{\vec{N}s} \rangle = \frac{f^2}{2} + \frac{g^2}{2} + v^2f^2,$$

$$F = \langle \vec{\psi}_{\vec{N}v}, \vec{\psi}_{\vec{N}s} \rangle = \frac{-f}{\sqrt{2}} \text{ ve}$$

$$G = \langle \vec{\psi}_{\vec{N}v}, \vec{\psi}_{\vec{N}v} \rangle = 1$$

olarak bulunur. Daha sonra bulunan bu eşitlikler yardımıyla I. esas form

$$I = \left( \frac{f^2}{2} + \frac{g^2}{2} + v^2f^2 \right) ds^2 - (\sqrt{2}f) dsdv + Idv^2$$

denklemini ile elde edilir. Şimdi de II. esas formun katsayılarını bulabilmek için  $(\vec{N})$  dual eğrisinin belirttiği normal vektör alanı hesaplanmalıdır.  $(\vec{N})$  dual eğrisinin belirttiği yüzey normali



$$\vec{n} = \frac{\frac{g}{\sqrt{2}}\vec{C} - vf\vec{W}}{\sqrt{v^2 f^2 + \frac{g^2}{2}}} \tag{5}$$

olarak elde edilir.  $(\hat{N})$  dual eğrisinin belirttiği yüzey normali yardımıyla bu eğriye ait II. esas formun katsayılarını bulalım.  $(\hat{N})$  dual eğrisinin  $S$  ve  $V$  ye göre türev alındığında

$$\vec{\psi}_{\hat{N}_{ss}} = \frac{-f'\vec{N} - f(f\vec{C}) + g'\vec{W} + g(-g\vec{C})}{\sqrt{2}} + vf'\vec{C} + vf(-f\vec{N} + g\vec{W})$$

olarak hesaplanır. Benzer işlemlerle  $\psi_{\hat{N}_{sv}} = f\vec{C}$  ve  $\psi_{\hat{N}_{vv}} = 0$  olarak bulunur. Şimdi bu yönlü türevler ve (5) denkleminde II. esas formun katsayıları

$$L = \langle \vec{\psi}_{\hat{N}_{ss}}, \vec{n} \rangle = \left\{ \frac{\frac{g}{\sqrt{2}}((vf)' - \frac{g^2}{\sqrt{2}} - \frac{f^2}{\sqrt{2}}) - vf(g + \frac{g'}{\sqrt{2}})}{\sqrt{v^2 f^2 + \frac{g^2}{2}}} \right\},$$

$$M = \langle \vec{\psi}_{\hat{N}_{sv}}, \vec{n} \rangle = (\psi_n)_{s,v} = \frac{f\frac{g}{\sqrt{2}}}{\sqrt{v^2 f^2 + \frac{g^2}{2}}} \text{ ve}$$

$$N = \langle \vec{\psi}_{\hat{N}_{vv}}, \vec{n} \rangle = 0$$

olarak elde edilir. Buradan da

$$K_{\hat{N}} = -\frac{\left(\frac{f\frac{g}{\sqrt{2}}}{\sqrt{v^2 f^2 + \frac{g^2}{2}}}\right)^2}{\frac{f^2}{2} + \frac{g^2}{2} + v^2 f^2 - \frac{f^2}{2}} = -\frac{f^2 g^2}{2\left(\frac{g^2}{2} + v^2 f^2\right)^2},$$

$$H_{\hat{N}} = \frac{-2\left(\frac{f\frac{g}{\sqrt{2}}}{\sqrt{v^2 f^2 + \frac{g^2}{2}}}\right)\frac{-f}{\sqrt{2}}}{2\left(\frac{f^2}{2} + \frac{g^2}{2} + v^2 f^2 - \frac{f^2}{2}\right)} = \frac{(f^2 g)\frac{f^2}{2}}{2\sqrt{\left(\frac{g^2}{2} + v^2 f^2\right)^3}}$$

denklemleri elde edilir. Benzer işlemler ile  $(\hat{C})$  ve  $(\hat{W})$  dual eğrileri için Gauss ve ortalama eğrilik hesaplanır ve böylelikle ispat tamamlanmış olur.

**Teorem 3.3.**  $\overline{NC}$  - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\hat{N}), (\hat{C}), (\hat{W})$  dual vektörlerin oluşturduğu  $(\vec{w})$  Darboux ve  $(\vec{D})$  dual Steiner vektörü

$$\vec{w} = g\vec{N} + f\vec{W} + \varepsilon\left(\frac{f\vec{N} - g\vec{C}}{\sqrt{2}}\right) \text{ ve}$$

$$\vec{D} = \oint \vec{w} = \vec{N} \oint g + \vec{W} \oint f + \varepsilon\left(\vec{N} \oint \left(\frac{f}{\sqrt{2}}\right) - \vec{W} \oint \left(\frac{g}{\sqrt{2}}\right)\right)$$

bağıntısıyla verilir.

**İspat.** Darboux vektörünün tanımından

$$\vec{w} = w + \varepsilon w^* \tag{6}$$

$$\vec{w}^* = \alpha \wedge \vec{w} = \left(\frac{\vec{N} + \vec{C}}{\sqrt{2}}\right) \wedge (g\vec{N} + f\vec{W}) = \frac{f\vec{N} - f\vec{C} - g\vec{W}}{\sqrt{2}} \tag{7}$$

olur. (7) denklemini (6) da yerine yazılırsa

$$\vec{w} = g\vec{N} + f\vec{W} + \varepsilon\left(\frac{f\vec{N} - f\vec{C} + g\vec{W}}{\sqrt{2}}\right) \text{ olarak}$$

elde edilir. Dual Steiner vektörün tanımından

$$D = \oint \vec{w} = \vec{N} \oint g + \vec{W} \oint f + \varepsilon\left(\vec{N} \oint \left(\frac{f}{\sqrt{2}}\right) - \vec{C} \oint \left(\frac{f}{\sqrt{2}}\right) - \vec{W} \oint \left(\frac{g}{\sqrt{2}}\right)\right)$$

olarak elde edilir. Böylelikle ispat tamamlanmış olur.

**Teorem 3.4.**  $\overline{NC}$  - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\hat{N}), (\hat{C}), (\hat{W})$  dual eğrilerinin çizgiler uzayında karşılık geldiği kapalı regle yüzeylerin dual açıları sırasıyla;

$$\Lambda_{\hat{N}} = \oint g, \Lambda_{\hat{C}} = \frac{\varepsilon}{\sqrt{2}} \oint f \text{ ve } \Lambda_{\hat{W}} = \oint f$$

bağıntısıyla hesaplanır.

**İspat.**

$$\Lambda_{\hat{N}} = -\langle \vec{D}, \vec{N} \rangle = -\langle \vec{d} + \varepsilon \vec{d}^*, \vec{N} + \varepsilon \vec{N}^* \rangle \tag{8}$$

(8) denklemini düzenlendiğinde

$$\begin{aligned} A_{\vec{N}} &= \left\langle \vec{N} \oint g + \vec{W} \oint f, \vec{N} \right\rangle \\ &+ \varepsilon \left( \left\langle \left( \vec{N} \oint g + \vec{W} \oint f, -\frac{\vec{W}}{\sqrt{2}} \right) \right\rangle \right) \\ &+ \left\langle \vec{N} \oint \left( \frac{f}{\sqrt{2}} \right) - \vec{W} \oint \left( \frac{g}{\sqrt{2}} \right), \vec{N} \right\rangle \end{aligned}$$

elde edilir.

Burada iç çarpımlar yapıldığında

$$A_{\vec{N}} = \oint g$$

denklemini elde edilir. Benzer işlemlerle  $(\hat{C})$  ve  $(\hat{W})$  dual eğrilerine ait dual eğilim açısı hesaplanır ve böylelikle ispat tamamlanmış olur.

$\alpha(s)$  eğrisine ait  $\alpha_{\vec{NW}}(s) = \frac{\vec{N} + \vec{W}}{\sqrt{2}}$  Smarandache

eğrisini için  $(\hat{N}), (\hat{C}), (\hat{W})$  dual eğrilerinin belirttiği regle yüzeyleri sırasıyla

$$\vec{\psi}_{\vec{N}}(s, \varphi) = \frac{\vec{W}}{\sqrt{2}} + v\vec{N},$$

$$\vec{\psi}_{\vec{C}}(s, v) = \frac{\vec{N} + \vec{W}}{\sqrt{2}} + v\vec{C},$$

$$\vec{\psi}_{\vec{W}}(s, v) = \frac{\vec{N}}{\sqrt{2}} + v\vec{W}$$

olarak verilir.

**Teorem 3.5.**  $\vec{NW}$  - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\hat{N}), (\hat{C}), (\hat{W})$  dual eğrilerin çizgiler uzayında karşılık geldiği kapalı regle yüzeylerinin dağılma parametreleri sırasıyla  $P_{\vec{N}} = 0, P_{\vec{C}} = 0$  ve  $P_{\vec{W}} = 0$  şeklinde verilir.

**İspat.**  $(\hat{N})$  dual eğrisinin belirttiği kapalı regle yüzeyinin dağılma parametresi

$$P_{\vec{N}} = \frac{\det((\vec{N} \wedge \vec{N}^*)', \vec{N}, \vec{N}')}{\|\vec{N}'\|^2}$$

denklemini ile hesaplanır. Dağılma parametresindeki determinant

$$\det((\vec{N} \wedge \vec{N}^*)', \vec{N}, \vec{N}') = \begin{vmatrix} 0 & -\frac{g}{\sqrt{2}} & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \end{vmatrix} = 0 \quad (9)$$

olarak elde edilir. (9) denklemini hesaplandığında,  $P_{\vec{N}} = 0$  sonucu elde edilir. Benzer işlemler yapıldığında  $(\hat{C})$  dual eğrisinin belirttiği kapalı regle yüzeyinin dağılma parametresi

$$P_{\vec{C}} = \frac{\det((\vec{C} \wedge \vec{C}^*)', \vec{C}, \vec{C}')}{\|\vec{C}'\|^2}$$

olarak verilebilir. Dağılma parametresindeki determinantı hesaplayabilmek için öncelikle

$$(\vec{C} \wedge \vec{C}^*)' = \left( \frac{\vec{N} + \vec{W}}{\sqrt{2}} \right)' = \frac{(f-g)\vec{C}}{\sqrt{2}}$$
 eşitliği elde

edilir. Daha sonra,

$$\det((\vec{C} \wedge \vec{C}^*)', \vec{C}, \vec{C}') = \begin{vmatrix} 0 & \frac{(f-g)}{\sqrt{2}} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -f & 0 & g \end{vmatrix} = 0$$

determinantı hesaplandığında, dağılma parametresi  $P_{\vec{C}} = 0$  olarak bulunur.  $(\hat{W})$  dual eğrisinin belirttiği kapalı regle yüzeyinin dağılma parametresi

$$P_{\vec{W}} = \frac{\det((\vec{W} \wedge \vec{W}^*)', \vec{W}, \vec{W}')}{\|\vec{W}'\|^2}$$

olarak verilir. Verilen bu determinantı hesaplayabilmek için öncelikle

$$(\vec{W} \wedge \vec{W}^*)' = \left( \frac{\vec{N}}{\sqrt{2}} \right)' = \frac{f\vec{C}}{\sqrt{2}}$$

eşitliği elde edilir.  $P_{\vec{W}}$  dağılma parametresi eşitliğindeki

$$\det((\vec{W} \wedge \vec{W}^*)', \vec{W}, \vec{W}') = \begin{vmatrix} 0 & \frac{f}{\sqrt{2}} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -g & 0 \end{vmatrix} = 0$$

determinantı hesaplandığında verilen dual eğrinin dağılma parametresi  $P_W = 0$  olur ve böylelikle ispat tamamlanmış olur. Sonuç olarak  $P_{\hat{N}} = 0$ ,  $P_C = 0$  ve  $P_{\hat{W}} = 0$  dağılma parametreleri bulunur.

**Teorem 3.6.**  $\overline{NW}$  - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\hat{N}), (\hat{C}), (\hat{W})$  dual eğrilerinin karşılık geldiği kapalı regle yüzeylerin Gauss ve ortalama eğrilikleri sırasıyla,

$$K_{\hat{N}} = 0, K_{\hat{C}} = 0 \text{ ve } K_{\hat{W}} = 0,$$

$$H_{\hat{N}} = \frac{g}{\sqrt{2}g - 2vf},$$

$$H_{\hat{C}} = \frac{fg' - gf'}{2v(f^2 + g^2)^{3/2}},$$

$$H_{\hat{W}} = \frac{f}{2vg - \sqrt{2}f},$$

bağıntılarıyla verilir.

**İspat.**  $(\hat{N})$  dual eğrisinin belirttiği kapalı regle yüzeyinin Gauss ve ortalama eğriliğini bulmak için I. esas form ve II. esas form ile birlikte normal vektör alanı bulunmalıdır. Öncelikle  $(\hat{N})$  eğrisinin sırasıyla  $s$  ve  $v$  ye göre yönlü türevleri alındığında

$$\vec{\psi}_{\hat{N}_s} = \left[ \frac{-g\vec{c}}{\sqrt{2}} + vf\vec{c} \right] = \frac{(\sqrt{2}vf - g)}{\sqrt{2}}\vec{c} \text{ ve } \vec{\psi}_{\hat{N}_v} = \vec{N}$$

eşitlikleri elde edilir. Buradan yönlü türevlerin iç çarpımı yardımıyla I. esas formun katsayıları sırasıyla;

$$E = \langle \vec{\psi}_{\hat{N}_s}, \vec{\psi}_{\hat{N}_s} \rangle = \frac{(\sqrt{2}vf - g)^2}{2},$$

$$F = \langle \vec{\psi}_{\hat{N}_v}, \vec{\psi}_{\hat{N}_s} \rangle = 0 \text{ ve}$$

$$G = \langle \vec{\psi}_{\hat{N}_v}, \vec{\psi}_{\hat{N}_v} \rangle = 1$$

olarak bulunur. Buradan da I. esas form

$$I = \frac{(\sqrt{2}vf - g)^2}{2} ds^2 + Idv^2 \text{ olarak elde edilir.}$$

Şimdi de II. esas formun katsayılarını bulabilmek için  $(\hat{N})$  dual eğrisinin belirttiği normal vektör alanı bulunmalıdır.  $(\hat{N})$  dual eğrisinin belirttiği normal vektör alanı

$$\vec{n} = \frac{-\frac{(\sqrt{2}vf - g)}{\sqrt{2}}\vec{W}}{\sqrt{\frac{(\sqrt{2}vf - g)^2}{2}}} = -\vec{W} \tag{10}$$

olarak elde edilir.  $(\hat{N})$  dual eğrisinin belirttiği normal vektör alanı yardımıyla bu eğriye ait II. esas formun katsayılarını bulalım.  $(\hat{N})$  dual eğrisinin  $s$  ve  $v$  ye göre tekrardan yönlü türev alma işlemi uygulandığında;

$$\vec{\psi}_{\hat{N}_{ss}} = -f\vec{N} \frac{(\sqrt{2}vf - g)}{\sqrt{2}} + \left( \frac{(\sqrt{2}vf - g)}{\sqrt{2}} \right)' \vec{c} + g\vec{W} \frac{(\sqrt{2}vf - g)}{\sqrt{2}}$$

denklemi elde edilir. Benzer işlemlerle  $\vec{\psi}_{\hat{N}_{sv}} = f\vec{C}$  ve  $\psi_{\hat{N}_{vv}} = 0$  olarak bulunur. Şimdi bu yönlü türevler ve (10) denkleminden II. esas formun katsayıları

$$L = \langle \vec{\psi}_{\hat{N}_{ss}}, \vec{n} \rangle = -g \frac{(\sqrt{2}vf - g)}{\sqrt{2}},$$

$$M = \langle \vec{\psi}_{\hat{N}_{sv}}, \vec{n} \rangle = (\vec{\psi}_n)_{s,v} = 0 \text{ ve}$$

$$N = \langle \vec{\psi}_{\hat{N}_{vv}}, \vec{n} \rangle = 0$$

şeklinde elde edilir. Buradan da Gauss ve ortalama eğrilikleri

$$K_{\hat{N}} = 0 \text{ ve } H_{\hat{N}} = \frac{g}{(\sqrt{2}g - 2vf)}$$

olarak bulunur. Benzer işlemler ile  $(\hat{C})$  ve  $(\hat{W})$  dual eğrileri için Gauss ve ortalama eğrilik hesaplanır ve böylelikle ispat tamamlanmış olur.

**Teorem 3.7.**  $\overline{NW}$  - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\hat{N}), (\hat{C}), (\hat{W})$  dual vektörlerin oluşturduğu  $(\vec{w})$  Darboux ve  $(\vec{D})$  dual Steiner vektörü

$$\vec{w} = g\vec{N} + f\vec{W} + \varepsilon \left( \frac{-f + g}{\sqrt{2}} \vec{C} \right) \text{ ve}$$

$$\vec{D} = \oint \vec{w} = \vec{N} \oint g + \vec{W} \oint f + \varepsilon \left( \vec{C} \oint \left( \frac{-f + g}{\sqrt{2}} \right) \right)$$

bağıntısıyla verilir.

**İspat.** Darboux vektörünün tanımından

$$\vec{w} = w + \varepsilon w^* \tag{11}$$

$$\begin{aligned} \vec{\omega}^* &= \alpha \wedge \vec{\omega} = \left(\frac{\vec{N}+\vec{W}}{\sqrt{2}}\right) \wedge (g\vec{N} + f\vec{W}) = \\ \frac{-f\vec{C}+g\vec{C}}{\sqrt{2}} &= \frac{-f+g}{\sqrt{2}} \vec{C} \end{aligned} \quad (12)$$

olur. (12) denklemi (11) de yerine yazılırsa  $\vec{\omega} = g\vec{N} + f\vec{W} + \varepsilon \left(\frac{-f+g}{\sqrt{2}} \vec{C}\right)$  olarak elde edilir. Dual Steiner vektörün tanımından  $\vec{D} = \phi R = \vec{N} \phi g + \vec{W} \phi f + \varepsilon \left(\vec{C} \phi \left(\frac{-f+g}{\sqrt{2}}\right)\right)$  olarak elde edilir. Böylelikle ispat tamamlanmış olur.

**Teorem 3.8.**  $\overline{NW}$  - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\vec{N}), (\vec{C}), (\vec{W})$  dual eğrilerinin çizgiler uzayında karşılık geldiği kapalı regle yüzeylerin dual açıları sırasıyla;

$$A_{\vec{N}} = \phi g, \quad A_{\vec{C}} = 0 \quad \text{ve} \quad A_{\vec{W}} = \phi f$$

bağıntısıyla hesaplanır.

**İspat.**

$$A_{\vec{N}} = -\langle \vec{D}, \vec{N} \rangle = -\langle \vec{d} + \varepsilon \vec{d}^*, \vec{N} + \varepsilon \vec{N}^* \rangle \quad (13)$$

(13) denklemi biraz düzenlenirse

$$\begin{aligned} A_{\vec{N}} &= \left\langle \vec{N} \phi g + \vec{W} \phi f, \vec{N} \right\rangle \\ &+ \varepsilon \left\langle \left( \vec{N} \phi g + \vec{W} \phi f, \frac{\vec{C}}{\sqrt{2}} \right) \right\rangle \\ &+ \left\langle \vec{C} \phi \left( \frac{-f+g}{\sqrt{2}} \right), \vec{N} \right\rangle \end{aligned}$$

elde edilir. Burada iç çarpımlar alındığında,

$A_{\vec{N}} = \phi g$  sonucu elde edilir. Benzer işlemlerle  $(\vec{C})$  ve  $(\vec{W})$  dual eğrilerine ait dual eğilim açısı hesaplanır ve böylelikle ispat tamamlanmış olur.

$\alpha(s)$  eğrisine ait  $\alpha_{CW}(s) = \frac{\vec{C} + \vec{W}}{\sqrt{2}}$  Smarandache eğrisini için  $(\vec{N}), (\vec{C}), (\vec{W})$  dual eğrilerinin belirttiği regle yüzeyleri sırasıyla

$$\vec{\psi}_{\vec{N}}(s, \varphi) = \vec{N} \wedge \vec{N}^* + v\vec{N} = \frac{\vec{W} + \vec{C}}{\sqrt{2}} + v\vec{N},$$

$$\vec{\psi}_{\vec{C}}(s, v) = \frac{\vec{W}}{\sqrt{2}} + v\vec{C} \quad \text{ve}$$

$$\vec{\psi}_{\vec{W}}(s, v) = \frac{-\vec{N}}{\sqrt{2}} + v\vec{W} \quad \text{olarak verilir.}$$

**Teorem 3.9.**  $\overline{CW}$  - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\vec{N}), (\vec{C}), (\vec{W})$  dual

eğrilerinin çizgiler uzayında karşılık geldiği kapalı regle yüzeylerin dağılma parametreleri

$$P_{\vec{N}} = \frac{fg}{\sqrt{2}(f^2+g^2)}, \quad P_{\vec{C}} = 0 \quad \text{ve} \quad P_{\vec{W}} = \frac{f}{\sqrt{2}g}$$

verilir. Teoremden, dayanak eğrisi  $\hat{C}\hat{W}$  Smarandache eğrisi ile üretilen  $(\hat{W})$  dual eğrisine karşılık gelen  $\psi_{\hat{C}\hat{W}}$  kapalı regle yüzeyini için  $g = 0$  veya  $\frac{\tau}{\kappa} = sbt$  olması durumunda dağılma parametresinin hesaplanamadığı sonucu elde edilmektedir.

**Teorem 3.10.**  $\overline{CW}$  - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\vec{N}), (\vec{C}), (\vec{W})$  dual eğrilerinin çizgiler uzayında karşılık geldiği kapalı regle yüzeylerin Gauss ve ortalama eğrilikleri

$$K_{\vec{N}} = \frac{2f^2g^2}{[(\sqrt{2}vf+f-g)^2+g^2][(\sqrt{2}vf-g)^2+g^2]},$$

$$K_{\vec{C}} = 0, \quad K_{\vec{W}} = 0$$

$$H_{\vec{N}} =$$

$$\frac{-2g^3 - f^2g(1+2v^2) + \sqrt{2}fg(-2+2vg+v) + \sqrt{2}v(gf' - fg')}{\sqrt{2}((\sqrt{2}vf-g)^2+g^2)\sqrt{(\sqrt{2}vf+f-g)^2+g^2}}$$

$$H_{\vec{C}} = \frac{g'f - f'g - g^2f}{2v[f^2+g^2]^{3/2}},$$

$$H_{\vec{W}} = \frac{f}{\sqrt{2}f - 2vg}$$

bağıntılarıyla verilir.

**Teorem 3.11.**  $\overline{CW}$  - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\vec{N}), (\vec{C}), (\vec{W})$  dual vektörlerin oluşturduğu  $(\vec{\omega})$  Darboux ve  $(\vec{D})$  dual Steiner vektörü

$$\vec{\omega} = g\vec{N} + f\vec{W} + \varepsilon \left(\frac{-f+g}{\sqrt{2}} \vec{C}\right) \quad \text{ve}$$

$$\vec{D} = \phi \hat{w} = \vec{N} \phi g + \vec{W} \phi f + \varepsilon \left(\vec{C} \phi \left(\frac{-f+g}{\sqrt{2}}\right)\right)$$

bağıntısıyla verilir.

**Teorem 3.12.**  $\overline{CW}$  - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\vec{N}), (\vec{C}), (\vec{W})$  dual eğrilerinin çizgiler uzayında karşılık geldiği kapalı regle yüzeylerin dual açılım açıları sırasıyla

$$A_{\vec{N}} = \phi g, \quad A_{\vec{C}} = +\varepsilon \left(-2 \phi \frac{g}{\sqrt{2}}\right) \quad \text{ve} \quad A_{\vec{W}} = \phi f \quad \text{dir.}$$

$\alpha(s)$  eğrisine ait  $\alpha_{\hat{N}\hat{C}\hat{W}}(s) = \frac{\vec{N} + \vec{C} + \vec{W}}{\sqrt{2}}$  Smarandache eğrisini için  $(\hat{N}), (\hat{C}), (\hat{W})$  dual

eğrilerinin belirttiği regle yüzeyleri sırasıyla  $\psi_{\hat{N}}(s, v) = \frac{\vec{W} + \vec{C}}{\sqrt{2}} + v\vec{N}$ ,  $\psi_{\hat{C}}(s, v) = \frac{\vec{N} + \vec{W}}{\sqrt{2}} + v\vec{C}$  ve  $\psi_{\hat{W}}(s, v) = \frac{\vec{N} + \vec{C}}{\sqrt{2}} + v\vec{W}$  olarak verilir.

**Teorem 3.13.**  $\overline{NCW}$ - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\hat{N}), (\hat{C}), (\hat{W})$  dual eğrilerinin çizgiler uzayında karşılık geldiği kapalı regle yüzeylerin dağılma parametreleri  $P_{\hat{N}} = \frac{g}{\sqrt{2}f}$ ,  $P_C = 0$  ve  $P_{\hat{W}} = \frac{-f}{\sqrt{2}g}$  bağıntısından hesaplanır.

Teoremden, dayanak eğrisi  $\hat{N}\hat{C}\hat{W}$  Smarandache eğrisi ile üretilen  $(\hat{W})$  dual eğrisine karşılık gelen  $\psi_{\hat{N}\hat{C}\hat{W}}$  kapalı regle yüzeyini için  $g = 0$  veya  $\frac{\tau}{\kappa} = sbt$  olması durumunda dağılma parametresi hesaplanamadığı sonucu elde edilmektedir.

**Teorem 3.14.**  $\overline{NCW}$ - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\hat{N}), (\hat{C}), (\hat{W})$  dual eğrilerinin çizgiler uzayında karşılık geldiği kapalı regle yüzeylerin Gauss ve ortalama eğrilikleri

$$K_{\hat{N}} = \frac{f^2 g^2}{v^2 f^2 + \sqrt{2} v f g + g^2},$$

$$K_{\hat{C}} = 0,$$

$$K_{\hat{W}} = -\frac{2g^2 f^2}{(f^2 + (\sqrt{2} v g + f - g)^2)^2} \text{ ve}$$

$$H_{\hat{N}} = \frac{\sqrt{2} f^2 g}{[(\sqrt{2} v f + g)^2 + g^2]^{3/2}},$$

$$H_{\hat{C}} = \frac{g' f - g f'}{2v(f^2 + g^2)^{3/2}}$$

$$H_{\hat{W}} = \frac{(\sqrt{2} v g + f)(f' - 2f^2 - f) - 5f g^2 - 2v f g}{4(v^2 g^2 + \sqrt{2} v f g + f^2)^{3/2}}$$

bağıntısıyla verilir.

**Teorem 3.15.**  $\overline{NCW}$ - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\hat{N}), (\hat{C}), (\hat{W})$  dual vektörlerin oluşturduğu  $(\vec{w})$  Darboux ve  $(\vec{D})$  dual Steiner vektörü

$$\vec{w} = g\vec{N} + f\vec{W} + \varepsilon \left( \frac{f\vec{N} - g\vec{C}}{\sqrt{2}} \right) \text{ ve}$$

$$\vec{D} = \oint \vec{w} = \vec{N} \oint g + \vec{W} \oint f + \varepsilon \left( \vec{N} \oint \left( \frac{f}{\sqrt{2}} \right) - \vec{W} \oint \left( \frac{g}{\sqrt{2}} \right) \right)$$

bağıntısıyla verilir.

**Teorem 3.16.**  $\overline{NCW}$ - Smarandache eğrisinin Frenet aparatlarından elde edilen  $(\hat{N}), (\hat{C}), (\hat{W})$

dual eğrilerinin çizgiler uzayında karşılık geldiği kapalı regle yüzeylerin dual açılım açıları sırasıyla  $\Lambda_{\hat{N}} = \phi g$ ,  $\Lambda_C = \sqrt{2} \varepsilon \phi f$  ve  $\Lambda_{\hat{W}} = \phi f$  dir.

### 3. Sayısal örnekler

#### 3.1. Nümeric Examples

#### 3.1 Dual $\hat{N}\hat{C}$ Smarandache eğrisinin karşılık geldiği regle yüzeyi

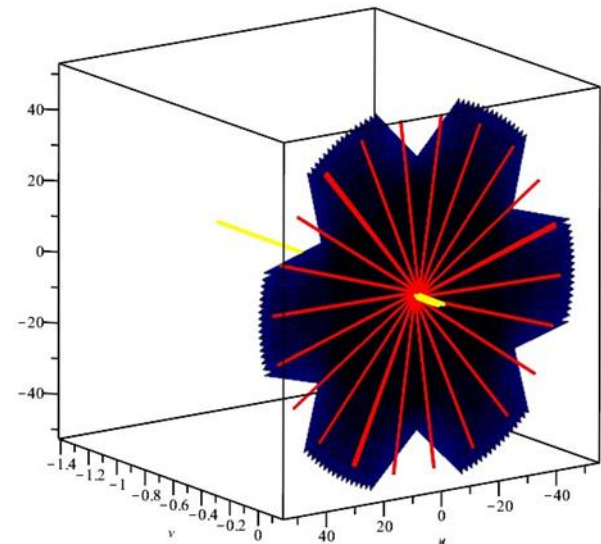
#### 3.1 Ruled surface according to Dual $\hat{N}\hat{C}$ Smarandache curve

$$\alpha(s) = \left( \frac{2}{\sqrt{13}} \cos s, \frac{3}{\sqrt{13}} s, \frac{2}{\sqrt{13}} \sin s \right) \text{ eğrisi için dual}$$

$\hat{N}\hat{C}$  Smarandache eğrisinin karşılık geldiği regle yüzeyi

$$\begin{aligned} \vec{\psi}_{\hat{N}}(s, v) &= \vec{N} \wedge \vec{N}^* + v\vec{N} = \vec{N} \wedge \left( -\frac{\vec{W}}{\sqrt{2}} \right) + v\vec{N} \\ &= \frac{\vec{C}}{\sqrt{2}} + v\vec{N} \\ &= \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \sin s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s \right) + v(-\cos s, 0, -\sin s) \\ &= \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s - v \sin s \right) \end{aligned}$$

olarak elde edilir.



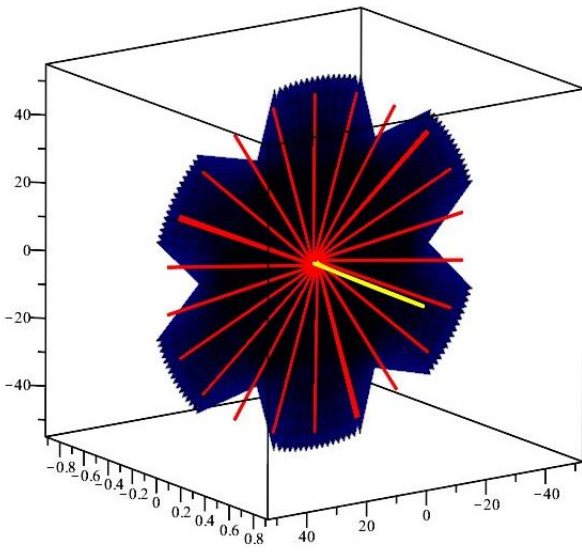
**Şekil 1.**  $\vec{\psi}_{\hat{N}}(s, v) = \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s - v \sin s \right)$  eğrisine ait regle yüzeyi

**Figure 1.** The ruled surface of the curve  $\vec{\psi}_{\hat{N}}(s, v) = \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s - v \sin s \right)$

Benzer yöntem ile

$$\begin{aligned} \vec{\psi}_{\vec{C}}(s, v) &= \vec{C} \wedge \vec{C}^* + v\vec{C} \\ &= \vec{C} \wedge \frac{\vec{W}}{\sqrt{2}} + v\vec{C} \\ &= \frac{\vec{N}}{\sqrt{2}} + v\vec{C} \\ &= \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s\right) \\ &\quad + v(\sin s, 0, -\cos s) \\ &= \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s + v \sin s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s\right) \end{aligned}$$

ve



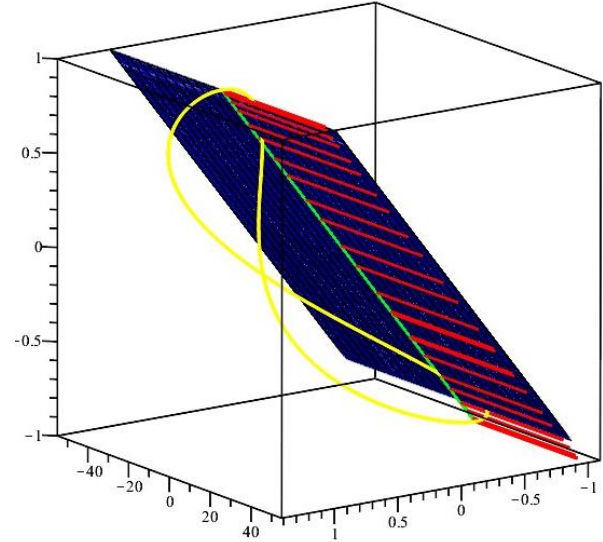
**Şekil 2.**  $\vec{\psi}_{\vec{C}}(s, v) = \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s + v \sin s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s\right)$  eğrisine ait regle yüzeyi

**Figure 2.** The ruled surface of the curve  $\vec{\psi}_{\vec{C}}(s, v) = \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s + v \sin s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s\right)$

$$\begin{aligned} \vec{\psi}_{\vec{W}}(s, v) &= \vec{W} \wedge \vec{W}^* + v\vec{W} \\ &= \vec{W} \wedge \left(\frac{\vec{N} - \vec{C}}{\sqrt{2}}\right) + v\vec{W} \\ &= \frac{\vec{N} + \vec{C}}{\sqrt{2}} + v\vec{W} \\ &= \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s\right) \\ &\quad + \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s\right) \\ &\quad + (0, v, 0) \end{aligned}$$

$$= \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s + \frac{1}{\sqrt{2}} \sin s, v, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - \frac{1}{\sqrt{2}} \cos s\right)$$

olarak hesaplanır.



**Şekil 3.**  $\vec{\psi}_{\vec{W}}(s, v) = \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s + \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{26}}{4} \sin s, v, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - \frac{1}{\sqrt{2}} \cos s\right)$  eğrisine ait regle yüzeyi

**Figure 3.** The ruled surface of the curve  $\vec{\psi}_{\vec{W}}(s, v) = \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s + \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{26}}{4} \sin s, v, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - \frac{1}{\sqrt{2}} \cos s\right)$

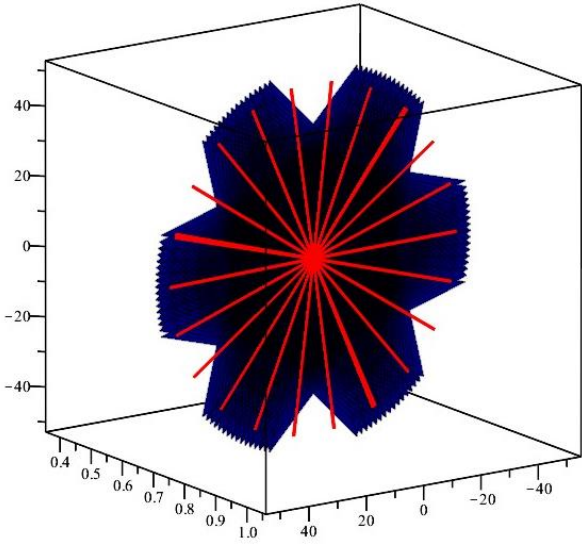
### 3.2 Dual $\widehat{N}\widehat{W}$ Smarandache eğrisinin karşılık geldiği regle yüzeyi

#### 3.2. Ruled surface according to Dual $\widehat{N}\widehat{W}$ Smarandache curve

$\alpha$  eğrisi için dual  $\widehat{N}\widehat{W}$  Smarandache eğrisinin karşılık geldiği regle yüzeyi

$$\begin{aligned} \vec{\psi}_{\widehat{N}}(s, v) &= \widehat{N} \wedge \widehat{N}^* + v\widehat{N} = \vec{N} \wedge \left(\frac{\vec{C}}{\sqrt{2}}\right) + v\vec{N} \\ &= \frac{\vec{W}}{\sqrt{2}} + v\vec{N} \\ &= \left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0\right) + v(-\cos s, 0, -\sin s) \\ &= \left(-v \cos s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -v \sin s\right) \end{aligned}$$

olarak elde edilir.

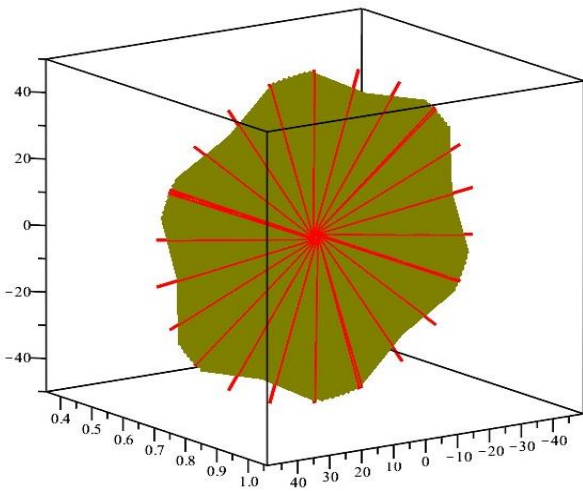


**Şekil 4.**  $\vec{\psi}_{\vec{N}}(s, v) = \left(-v \cos s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -v \sin s\right)$  eğrisine ait regle yüzeyi  
**Figure 4.** The ruled surface of the curve  $\vec{\psi}_{\vec{N}}(s, v) = \left(-v \cos s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -v \sin s\right)$

Benzer yöntem ile

$$\begin{aligned} \vec{\psi}_{\vec{C}}(s, v) &= \vec{C} \wedge \vec{C}^* + v\vec{C} = \vec{C} \wedge \frac{\vec{W} - \vec{N}}{\sqrt{2}} + v\vec{C} \\ &= \frac{\vec{N} + \vec{W}}{\sqrt{2}} + v\vec{C} \\ &= \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s\right) + \left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0\right) \\ &\quad + v(\sin s, 0, -\cos s) \\ &= \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s + v \sin s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s\right) \end{aligned}$$

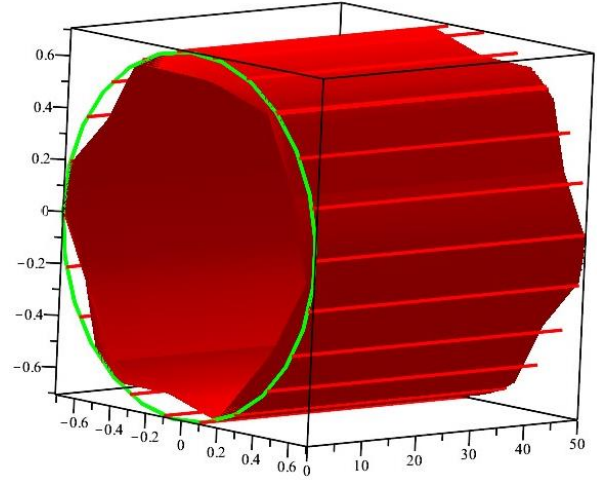
ve



**Şekil 5.**  $\vec{\psi}_{\vec{C}}(s, v) = \left(-v \cos s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -v \sin s\right)$  eğrisine ait regle yüzeyi  
**Figure 5.** The ruled surface of the curve  $\vec{\psi}_{\vec{C}}(s, v) = \left(-v \cos s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -v \sin s\right)$

$$\begin{aligned} \vec{\psi}_{\vec{W}}(s, v) &= \vec{W} \wedge \vec{W}^* + v\vec{W} = \vec{W} \wedge \left(\frac{-\vec{C}}{\sqrt{2}}\right) + v\vec{W} \\ &= \frac{\vec{N}}{\sqrt{2}} + v\vec{W} \\ &= \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s\right) + (0, v, 0) \\ &= \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, v, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s\right) \end{aligned}$$

olarak verilir.



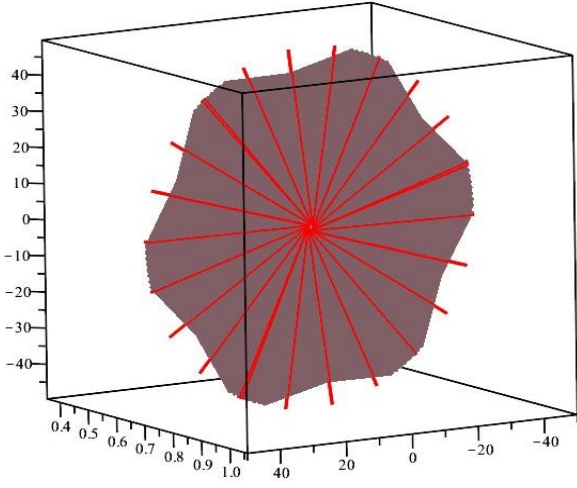
**Şekil 6.**  $\vec{\psi}_{\vec{W}}(s, v) = \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, v, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s\right)$  eğrisine ait regle yüzeyi  
**Figure 6.** The ruled surface of the curve  $\vec{\psi}_{\vec{W}}(s, v) = \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, v, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s\right)$

### 3.3 Dual $\widehat{CW}$ Smarandache eğrisinin karşılık geldiği regle yüzeyi

#### 3.3. Ruled surface according to Dual $\widehat{CW}$ Smarandache curve

$\alpha$  eğrisi için dual  $\widehat{CW}$  Smarandache eğrisinin karşılık geldiği regle yüzeyi

$$\begin{aligned} \vec{\psi}_{\vec{N}}(s, v) &= \vec{N} \wedge \vec{N}^* + v\vec{N} = \vec{N} \wedge \left(\frac{\vec{C} - \vec{W}}{\sqrt{2}}\right) + v\vec{N} \\ &= \frac{\vec{W} + \vec{C}}{\sqrt{2}} + v\vec{N} \\ &= \left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0\right) + \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s\right) \\ &\quad + v(-\cos s, 0, -\sin s) \\ &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s - v \sin s\right) \end{aligned}$$



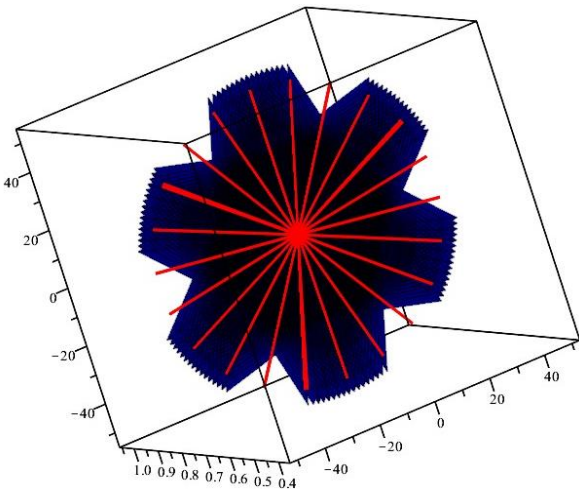
**Şekil 7.**  $\vec{\psi}_N(s, v) = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s - v \sin s\right)$  eğrisine ait regle yüzeyi

**Figure 7.** The ruled surface of the curve  $\vec{\psi}_N(s, v) = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s - v \sin s\right)$

olarak elde edilir. Benzer şekilde

$$\begin{aligned} \vec{\psi}_C(s, v) &= \vec{C} \wedge \vec{C}^* + v\vec{C} = \vec{C} \wedge \frac{-\vec{N}}{\sqrt{2}} + v\vec{C} \\ &= \frac{\vec{W}}{\sqrt{2}} + v\vec{C} \\ &= \left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0\right) + v(\sin s, 0, -\cos s) \\ &= \left(v \sin s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -v \cos s\right) \end{aligned}$$

ve

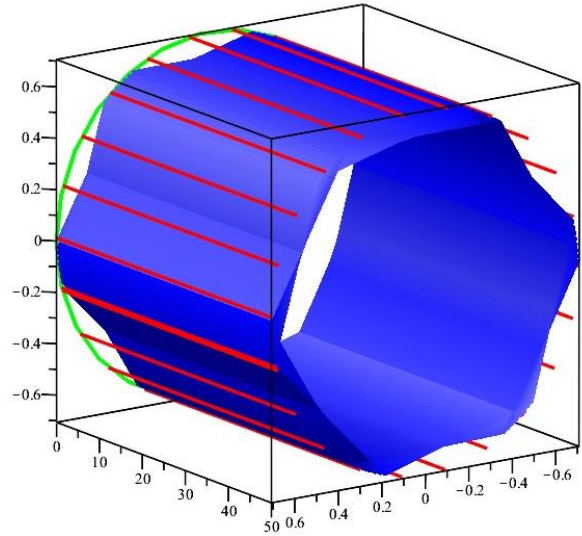


**Şekil 8.**  $\vec{\psi}_C(s, v) = \left(v \sin s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -v \cos s\right)$  eğrisine ait regle yüzeyi

**Figure 8.** The ruled surface of the curve  $\vec{\psi}_C(s, v) = \left(v \sin s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -v \cos s\right)$

$$\begin{aligned} \vec{\psi}_W(s, v) &= \vec{W} \wedge \vec{W}^* + v\vec{W} \\ &= \vec{W} \wedge \left(\frac{\vec{C} + \vec{W}}{\sqrt{2}}\right) + v\vec{W} \\ &= \frac{-\vec{N}}{\sqrt{2}} + v\vec{W} \\ &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, 0, \frac{1}{\sqrt{2}} \sin s\right) + (0, v, 0) \\ &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, v, \frac{1}{\sqrt{2}} \sin s\right) \end{aligned}$$

olarak bulunur.



**Şekil 9.**  $\vec{\psi}_W(s, v) = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, v, \frac{1}{\sqrt{2}} \sin s\right)$  eğrisine ait regle yüzeyi

**Figure 9.** The ruled surface of the curve  $\vec{\psi}_W(s, v) = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, v, \frac{1}{\sqrt{2}} \sin s\right)$

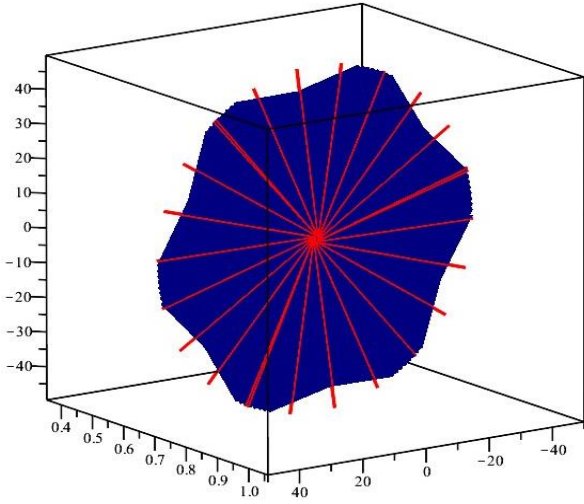
### 3.4 Dual $\widehat{NCW}$ Smarandache eğrisinin karşılık geldiği regle yüzeyi

#### 3.4. Ruled surface according to Dual $\widehat{NCW}$ Smarandache curve

$\alpha$  eğrisi için Dual  $\widehat{NCW}$  Smarandache eğrisinin karşılık geldiği regle yüzeylerini

$$\begin{aligned} \vec{\psi}_N(s, v) &= \vec{N} \wedge \vec{N}^* + v\vec{N} = \vec{N} \wedge \left(\frac{\vec{C} - \vec{W}}{\sqrt{2}}\right) + v\vec{N} \\ &= \frac{\vec{W} + \vec{C}}{\sqrt{2}} + v\vec{N} \\ &= \left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0\right) + \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s\right) \\ &\quad + (-v \cos s, 0, -v \sin s) \\ &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s - v \sin s\right) \end{aligned}$$





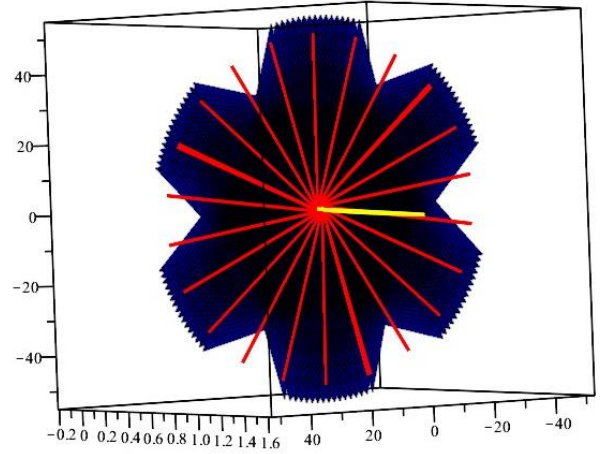
**Şekil 10.**  $\vec{\psi}_N(s, v) = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s - v \sin s\right)$  eğrisine ait regle yüzeyi

**Figure 10.** The ruled surface of the curve  $\vec{\psi}_N(s, v) = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s - v \sin s\right)$

olarak elde edilir. Benzer yöntem ile

$$\begin{aligned} \vec{\psi}_C(s, v) &= \vec{C} \wedge \vec{C}^* + v\vec{C} = \vec{C} \wedge \frac{\vec{W} - \vec{N}}{\sqrt{2}} + v\vec{C} \\ &= \frac{\vec{N} + \vec{W}}{\sqrt{2}} + v\vec{C} \\ &= \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s\right) + \left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0\right) \\ &\quad + (v \sin s, 0, -v \cos s) \\ &= \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s + v \sin s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s\right) \end{aligned}$$

ve

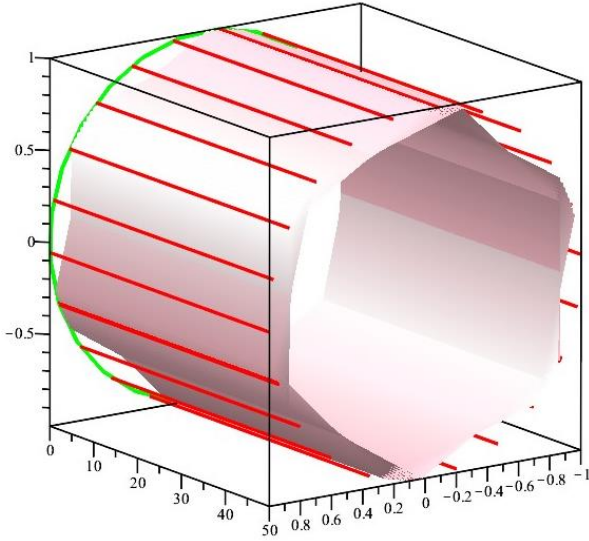


**Şekil 11.**  $\vec{\psi}_C(s, v) = \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s + v \sin s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s\right)$  eğrisine ait regle yüzeyi

**Figure 11.** The ruled surface of the curve  $\vec{\psi}_C(s, v) = \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s + v \sin s, \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - v \cos s\right)$

$$\begin{aligned} \vec{\psi}_W(s, v) &= \vec{W} \wedge \vec{W}^* + v\vec{W} \\ &= \vec{W} \wedge \left(\frac{\vec{N} - \vec{C}}{\sqrt{2}}\right) + v\vec{W} \\ &= \frac{\vec{N} + \vec{C}}{\sqrt{2}} + v\vec{W} \\ &= \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s\right) \\ &\quad + \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s\right) \\ &\quad + (0, v, 0) \\ &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - \frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, v, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s - \frac{1}{\sqrt{2}} \sin s\right) \end{aligned}$$

olarak hesaplanır.



**Şekil 12.**  $\vec{\psi}_W(s, v) = \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - \frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, v, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s - \frac{1}{\sqrt{2}} \sin s \right)$  eğrisine ait regle yüzeyi

**Figure 12.** The ruled surface of the curve  $\vec{\psi}_W(s, v) = \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \sin s - \frac{1}{\sqrt{2}} \cos s, v, -\frac{1}{\sqrt{2}} \cos s - \frac{1}{\sqrt{2}} \sin s \right)$

#### 4. Sonuç

##### 4. Conclusions

Çalışmamızda, E-Study teoremi prensibinden yararlanılarak alternatif NCW çatının elemanları kullanılarak elde edilen dual birim küre üzerindeki dual Smarandache eğrileri tanımlanmıştır. Elde edilen yeni dual eğrilerin Öklid 3-uzayında oluşturduğu regle yüzeyler için Gauss ve ortalama eğrilikleri hesaplanıp, bu regle yüzeylere ait dual Steiner vektörü ve dual açısı bulunmuştur. Alternatif çatısından yararlanarak dual eğriler elde ettiğimiz bu çalışmamızda yeni eğriler ve yüzeyler tanımlanarak literatüre katkıda bulunulmuştur.

##### Yazar katkısı

##### Author contribution

Bu çalışma Hatice KUŞAK SAMANCI danışmanlığında yürütülen Veysi CENGİZ'in yüksek lisans tezininden üretilmiştir.

##### Etik beyanı

##### Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

##### Çıkar çatışması beyanı

##### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

##### Kaynaklar

##### References

- Arslan, İ. (2010). *Dual küresel eğriler ve yüzeyler*. [Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Baky, R.A. (2002). An explicit characterization of dual spherical curve. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A1-Mathematics and Statistics*, 51(2), 1–9. [http://dx.doi.org/10.1501/Commua1\\_0000000356](http://dx.doi.org/10.1501/Commua1_0000000356).
- Bektaş, Ö., & Yüce, S. (2013). Special Smarandache curves according to Darboux frame in  $E^3$ . *Romanian Journal of Mathematics and Computer Science*, 3, 48–59.
- Bishop, R.L. (1975). There is more than one way to frame a curve. *The American Mathematical Monthly*, 82(3), 246–251. <http://dx.doi.org/10.1080/00029890.1975.11993807>.
- Bükcü, B., & Karacan, M.K. (2008). Special Bishop motion and Bishop Darboux rotation axis of the space curve. *Journal of Dynamical Systems and Geometric Theories*, 6(1), 27–34. <http://dx.doi.org/10.1080/1726037X.2008.10698542>.
- Bükcü, B., & Karacan, M.K. (2008). Bishop frame of the spacelike curve with a spacelike principal normal in Minkowski 3-space. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A1-Mathematics and Statistics*, 57(1), 13–22. [http://dx.doi.org/10.1501/Commua1\\_0000000185](http://dx.doi.org/10.1501/Commua1_0000000185).
- Bükcü, B., & Karacan, M.K. (2009). The slant helices according to Bishop frame. *International Journal of Mathematics and Computer Science*, 3(2), 67–70.
- Bükcü, B., & Karacan, M.K. (2010). Bishop frame of the spacelike curve with a spacelike binormal in Minkowski 3-space. *Selçuk Journal of Applied Mathematics*, 11(1), 15–25.
- Clifford, W.K. (1873). Preliminary sketch of biquaternions. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 4, 361–395.
- Çalışkan, A., & Şenyurt, S. (2020). Curves and ruled surfaces according to alternative frame in dual space. *Communications Faculty of Sciences*

University of Ankara Series A1-Mathematics and Statistics, 69(1), 684–698.  
<http://dx.doi.org/10.31801/cfsuasmas.487789>.

- Gürses, N.B., Bektaş, O., & Yüce, S., (2016). Special Smarandache curves in  $R_1^3$ . *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A1-Mathematics and Statistics*, 65(2), 143–160.
- Hacısalıhoğlu, H.H. (Ed.). (1983). *Hareket geometrisi ve kuaterniyonlar teorisi*. Gazi Üniversitesi Yayınları.
- Hacısalıhoğlu, H.H. (Ed.). (1983). *Diferensiyel geometri*. İnönü Üniversitesi Yayınları.
- Izumiya, S., & Takeuchi, N. (2004). New special curves and developable surfaces. *Turkish Journal of Mathematics*, 28(2), 153-164.
- Kahraman, T., & Uğurlu, H.H. (2014). Dual Smarandache curves and Smarandache ruled surfaces. *Mathematical Sciences and Applications E-Notes*, 2(1).
- Karacan, M.K. (2008). Bishop frame of the timelike curve in Minkowski 3-space. *SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 3(1), 80-90.
- Keskin, O., & Yaylı, Y. (2017). An application of N-Bishop frame to spherical images for direction curves. *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*, 14(11), 1750162.  
<http://dx.doi.org/10.1142/S0219887817501626>.
- Kuşak Samancı, H., & Kocayığıt, H. (2019). N-Bishop Darboux vector of the spacelike curve with spacelike binormal. *Thermal Science*, 23(1), 353-360.  
<http://dx.doi.org/10.2298/TSCI181112048K>.
- Scofield, P.D. (1995). Curves of constant precession. *The American Mathematical Monthly*, 102(6), 531-537.  
<http://dx.doi.org/10.1080/00029890.1995.12004613>.
- Study, E. (Ed.). (1903). *Die geometrie der dynamen*. Verlag Teubner. Leipzig.
- Şenyurt, S., & Çalışkan, A. (2015). N\*C\*-Smarandache curves of Mannheim curve couple according to Frenet frame. *International Journal of Mathematical Combinatorics*, 1, 1-13.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.815111>.
- Şenyurt, S., Sivas, S., & Çalışkan, A. (2016a). N-C Smarandache curves of involute evolute curve couple according to Frenet frame algebras. *Groups And Geometries*, 33(2), 153-164.
- Şenyurt, S., Çalışkan, A., & Celik, U. (2016b). N\*C\*-Smarandache curve of Bertrand curves pair according to Frenet frame. *International Journal of Mathematical Combinatorics*, 1, 1-7.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.815715>.
- Şenyurt, S., & Kaya, G. (2018). NC-Smarandache curve and NW-Smarandache curve according to alternative frame. *Turkish Journal of Mathematics and Computer Science*, 10269–274.
- Şenyurt, S., Çalışkan, A., & Çelik, U. (2021). Smarandache curves of Bertrand curves pair according to Frenet frame. *Boletim da Sociedade Paranaense de Matemática*, 39(5), 163-173.
- Uzunoğlu, B., Gök İ., & Yaylı, Y. (2016). A new approach on curves of constant precession. *Applied Mathematics and Computation*, 275, 317-323.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.amc.2015.11.083>.
- Yaylı, Y., & Saracoğlu, S., (2011). Some notes on dual spherical curves. *Journal of Informatics and Mathematical Sciences*, 3(2), 177–189.  
<http://dx.doi.org/10.26713%2Fjims.v3i2.49>.
- Yılmaz, S., Özyılmaz, E., & Turgut, M. (2010). New spherical indicatrices and their characterizations. *An Saint. University Ovidius Constanta*, 18(2), 337-354.
- Yılmaz, S., & Turgut, M.A. (2010). New version of Bishop frame and an application to spherical images. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 371(2), 764–776.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmaa.2010.06.012>.

## Regional solar and wind energy characteristics and it's energy potential in northwest of Turkey

*Türkiye'nin kuzeybatısındaki bölgesel güneş-rüzgâr enerjisi karakteristikleri ve enerji potansiyeli*

Tuğba BİÇEN<sup>1,a</sup>, Aslı Ayhan ARSLAN<sup>2,b</sup>, Ali VARDAR<sup>\*2,c</sup>

<sup>1</sup> Bursa Uludağ University, Institute of Natural and Applied Science, Department of Biosystems Engineering, 16059, Bursa

<sup>2</sup> Bursa Uludağ University, Faculty of Agriculture, Department of Biosystems Engineering, 16059, Bursa

• Geliş tarihi / Received: 16.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 04.02.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 19.02.2022

### Abstract

In this study, solar and wind energy properties and energy potentials around the Marmara Sea (North-West Turkey) are discussed from the perspective of climate change. The meteorological data of thirteen stations in this region were used. According to the results of 58 years between 1960 and 2017; temperature values of all stations increased between 0.8 and 1.7 °C. This increase is considered to be related with climate change. In this context, the importance of renewable energy sources such as solar and wind is increasing. The solar energy potential in the region is estimated to be between 1108.4 and 1488.9 kWhm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup> and the wind energy potential is between 1005.5 and 7007.9 kWhm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup>. The evaluation of these energy reserves is very important in the prevention of climatic processes caused by fossil energies.

**Keywords:** Climate change, Renewable energy, Solar energy, Wind energy

### Öz

*Bu çalışmada, Türkiye'nin Marmara Denizi çevresinde (North-West Turkey) güneş ve rüzgâr enerjisi karakteristikleri ile enerji potansiyelleri, iklim değişikliği perspektifinden ele alınmıştır. Bu bölgede bulunan on üç istasyonunun meteorolojik verilerinden yararlanılmıştır. 1960 ile 2017 yılları arasındaki 58 yıllık ölçüm sonuçlarına göre; istasyonların tamamında sıcaklık değerlerinin 0,8 ile 1,7 °C arasında artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu artışın iklim değişikliği ile ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Bu çerçevede güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha da artmaktadır. Bölgede güneş enerjisi potansiyelinin 1108,4 ile 1488,9 m<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup> arasında ve rüzgâr enerjisi potansiyelini ise 1005,5 ile 7007,9 kWhm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup> arasında olduğu hesaplanmıştır. Söz konusu enerji rezervlerinin değerlendirilmesi, fosil kökenli enerjilerin sebep olduğu iklimsel süreçlerin önlenmesinde oldukça önemlidir.*

**Anahtar kelimeler:** İklim değişikliği, Yenilenebilir enerji, Güneş enerjisi, Rüzgâr enerjisi

\*c Ali VARDAR; dravardar@uludag.edu.tr, Tel: (0224) 294 16 05, orcid.org/0000-0001-6349-9687

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0001-6826-2494

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-0018-0825

**1. Introduction**

*1. Giriş*

One of the main problems in the globalizing world is the need to produce more energy in order to maintain industrialization and technological development. As a result of this, climate change and global warming occurs. In today's world, it is impossible to give up technological development.

Effects of climate change and global warming; it consists of parameters such as heat waves, drought, flood precipitation, heavy snowfall, ocean acidification, temperature change, extinction of species, etc. In addition to these, sea ice loss, sea level rise, longer and more intense heat waves, ice shrinkage, plant and animal areas change, trees bloom more earlier etc. there are also effects (Nasa, 2019). The temperature rise in northwestern Mexico caused a decrease in yield in production areas. This is a threat to grain products (Hernandez-Ochoa et al., 2018). However, it has been observed that it has positive effects on crops such as corn and oilseeds (Xie et al., 2020). Moreover, the increase in temperature in cities as a result of global warming has a significant impact on the energy consumption of buildings (Santamouris, 2014). Recent studies have shown that hydro, wind and solar technologies can eliminate all fossil fuels and provide 100% of the energy in the World (Bose, 2010).

How do we preclude global warming and climate change? In many articles on the causes of climatic changes and global warming (Longa & Zwaan, 2017; Patlitzianas et al., 2005; Abdullah et al., 2014), the role of energy use by fossil origin is emphasized. One of the best solutions is to use renewable energy sources instead of fossil energy sources.

Renewable energy sources consist of solar energy, wind energy, biomass energy, geothermal energy, hydraulic energy, wave energy, current energy etc. (Boyle, 2004). These resources have advantages as well as disadvantages. Solar energy is potentially the highest-value renewable energy source. However, the efficiency of converting the energy of solar radiation into useful energy is low. Wind energy is advancing rapidly as technology. These are suitable for unit energy production costs. However, it is not possible to work in the desired efficiency in places such as city centers. Economically; the search for available wind energy sources and locations is an extremely important requirement (Al-Abbadi, 2005).

The production technologies of biomass energy are well developed today. Biomass energy is stored in comparison with the sun and wind. However, in the world with a food deficiency problem, energy from biological origin products is an important ethical problem. Furthermore, greenhouse gas emissions of biomass are also higher than other renewable energy sources (Table 1; Amponsah et al., 2014). Geothermal energy; it has a multi-purpose usage areas such as obtaining electricity, heating, cooling, thermal tourism, and industry. However, due to some harmful chemicals found in their structures and to ensure the sustainability of the reserve, re-injection is required.

In electricity generation, the temperature of the source should exceed at least 100 degrees. Hydraulic power plants from renewable energy sources have the ability to become part of acting quickly when excessive energy is needed. Dams established for hydraulic energy can also be used for irrigation, erosion and flood control besides energy. On the other hand, the investment costs of hydraulic power plants are high and their construction takes a long time. The fact that the efficiency of hydraulic power plants is directly related to the amount of precipitation is one of the important problems. The dams that have been built also disrupt the ecological structure of the region.

There are some disadvantages such as the possibility of flooding of settlements and historical buildings. Wave energy and current energy can only be used in areas with sea or streams that have strong currents.

**Table 1.** Comparison of greenhouse gas emissions in electricity generation from renewable energy sources

*Tablo 1. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde sera gazı emisyonlarının karşılaştırılması*

Resource	Mean (gCO <sub>2eq</sub> kW <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	Reference
Onshore Wind	29.5	(Hondo, 2005)
Offshore Wind	13.0	(Chatzimouratidis & Pilavachi, 2008)
Hydro-power	37.4	(Varun et al., 2012)
Wave power	22.8	(Carbon Trust, 2019)
Tidal power	15.0	(Jungbluth, 2005)
Geothermal	41.0	(Covenant of Mayors, 2010)
Photovoltaic	49.2	(Lenzen, 2008)
Solar thermal	39.6	(Velmurugan & Sridhar, 2008; Lenzen, 1999)
Biomass	118.0	(Elsayed et al., 2003)

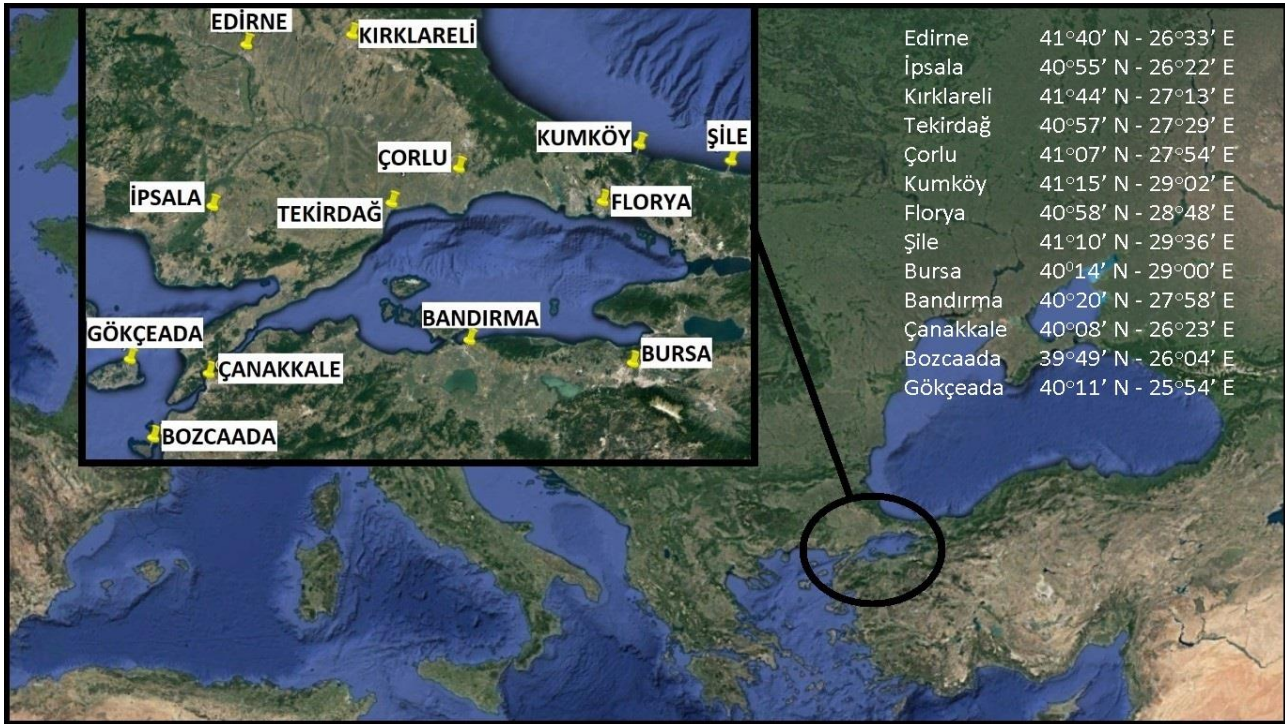
Greenhouse gas emissions are also associated with climate change. Renewable energy sources are used to reduce greenhouse gas emissions. Solar energy and wind energy usage in this study are also among renewable energy sources.

Many studies have been conducted for Turkey as a whole to date. These studies are valuable researches. In the present study, a general perspective covering the Marmara Region and carried out by analyzing the data spread over many years has been put forward. In this study, the temperature changes of northwestern Turkey were examined. Furthermore, it has been shown whether it is affected by global warming. Then, the solar energy potential and wind energy potential of the region were investigated. In the case of the usage of solar and wind energy potential whether or not the reduction of use of fossil power plants, were explorationed.

## 2. Site and data description

### 2. Araştırma alanı ve veri tanımlaması

Located in the northwest of Turkey and around the Marmara Sea, the region is referred the “Marmara region”. Istanbul, which assembles the continents of Asia and Europe, is located in the center of this region. Istanbul is the most crowded city in the country with its population of 15.029.231. The research area involves an important part of the Marmara region. In addition, the population of this area is given as 20.417.299 according to official records (TUİK, 2018). This ratio corresponds to 25.3% of the country's population. This region has the Bosphorus (Istanbul Strait) to the northeast and the Dardanelles (Çanakkale Strait) to the southwest. Geographically, the highest points of the region are Uludag in the south-east and Istranca mountains in the north. The location information of the thirteen stations selected in this study is shown in Figure 1. At these stations, climatic data are recorded instantaneously and daily.



**Figure 1.** The positions of stations in North-West Turkey on the map (Google Earth, 2019)

*Şekil 1. Kuzey-Batı Türkiye'deki istasyonların haritadaki konumları*

## 3. Methodology

### 3. Metot

Thirteen meteorological stations were evaluated for 58 years between 1960 and 2017 (TSMS, 2008). Data were analyzed and temperature distributions of each station were determined. The differences between the averages of temperatures

(temperature anomalies) were analyzed separately for each year. Apart from the temperature, precipitation, cloudiness, hours of sunshine, solar radiation, wind speed changes, and wind direction were studied. Solar energy and wind energy potential were examined after analysis of climatic parameters. For each station, the solar radiation (I) power per unit area and the monthly solar energy

potential (E) per unit area were calculated with the help of equation (1) and equation (2) (Mentens, 2011; Zahoransky et al., 2010).

$$E/A = I \cdot t \cdot \eta \tag{1}$$

$$P = E/t \tag{2}$$

Related to wind energy were calculated to equation (3) primarily wind speed at 100 m height from the ground level of the station values. In the calculations, Von Karman constant was taken as 0.4 (Gasch & Twele, 2011). In the determination of roughness length ( $Z_0$ ), surface roughness class and roughness coefficients (Vindmolleindustrien, 2019) were taken into consideration. The following equation (3) was used for the adaptation of the wind speed from ground level to 100 m (Pelletier, 2006; Klug, 2001).

$$v(h) = (u^*/k) \cdot \ln(h/Z_0) \tag{3}$$

With the help of wind speed values adapted to 100 m above the ground surface were calculated wind power (power density) per unit area and monthly wind energy potential per unit area.

In the meteorological stations, the measured hourly and daily mean values were converted to monthly and yearly mean values, with the equation (4), and equation (5), respectively (Soysal, 2000).

$$M_m = \sum x/n = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n)/n \tag{4}$$

$$M_y = \sum x/m = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n)/m \tag{5}$$

The *minimum* and *maximum* values of the data obtained from meteorological stations, *arithmetic averages* and *differences from the average*, *time-dependent correlations*, *significance tests* and graphs were created with the help of Microsoft Excel and IBM SPSS Statistics 23 programs.

**4. Results and discussion**

*4. Bulgular ve tartışma*

Hourly and daily recorded in meteorological stations temperature, precipitation, cloudiness, sunshine duration, solar radiation, wind speed, and wind direction data were analyzed. In 13 different stations of the region, solar radiation intensity, solar energy potential, wind velocity frequency distribution, wind power density, and wind energy potential were obtained. These results were presented and discussed under three main headings below.

**4.1. Climatic characteristics and variations**

*4.1. İklim özellikleri ve varyasyonları*

When the average temperature of the region is examined, the lowest temperature in winter months in Edirne and Kırklareli stations was recorded as 4.4 °C, 2.4 °C, and 4.0 °C. The highest temperature averages in the same period were saved as 9.7 °C, 8.1 °C and 8.5 °C in Bozcaada station. In the summer months, the lowest temperature averages of 20.0 °C, 22.5 °C and 22.6 °C were determined in Şile and Çorlu stations and the highest temperature averages were found to be 22.4 °C, 24.9 °C and 24.9 °C in Gökçeada and Çanakkale stations (Table 2).

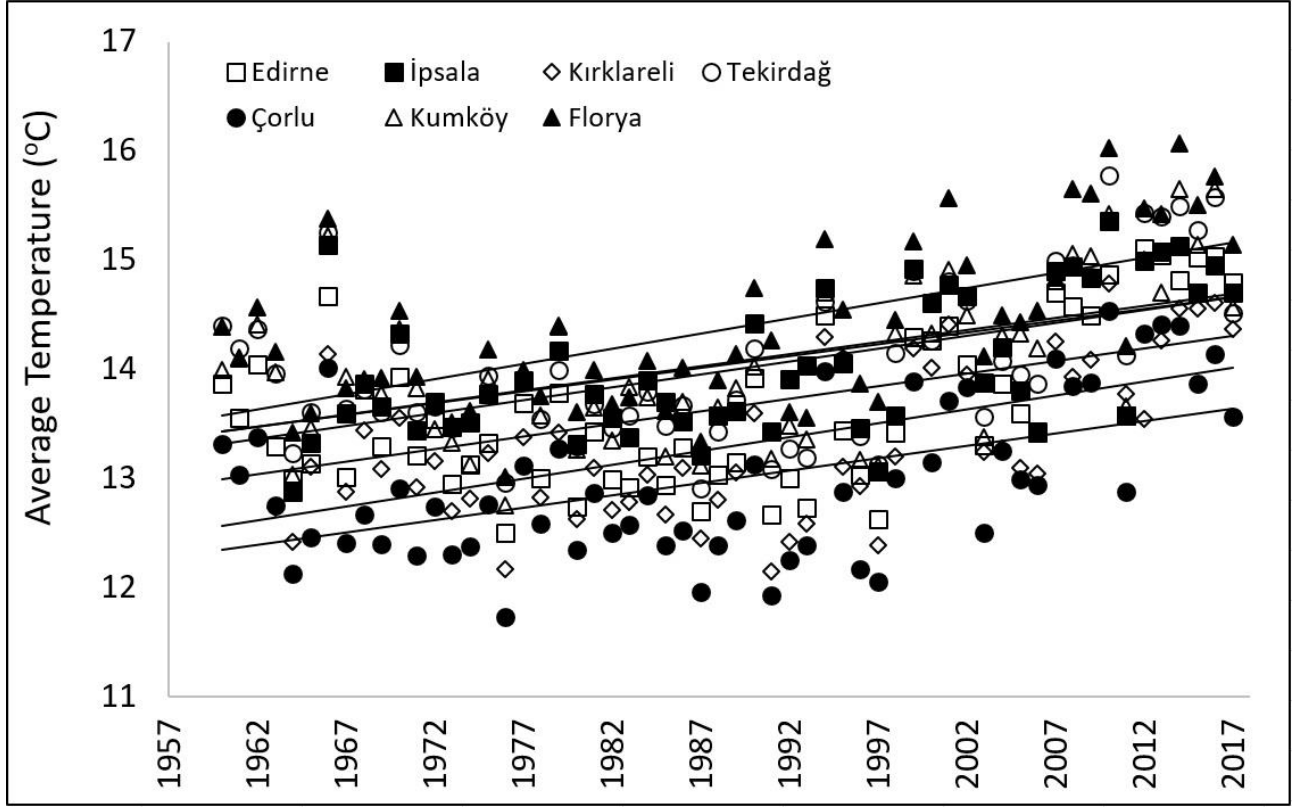
**Table 2.** Temperature averages  
**Tablo 2.** Ortalama sıcaklıklar

	Months											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bursa**	5.2	6.3	8.5	12.8	17.5	22.0	24.3	24.2	20.2	15.4	10.8	7.3
Edirne**	2.4	4.4	7.7	12.9	17.9	22.2	24.5	24.3	20.0	14.2	9.0	4.4
İpsala**	3.7	5.2	8.0	12.8	17.8	22.2	24.4	24.2	20.1	14.6	9.9	5.7
Kırklareli**	2.7	4.0	6.8	11.9	17.1	21.4	23.8	23.5	19.3	14.2	9.0	4.9
Tekirdağ**	4.9	5.4	7.5	11.8	16.6	21.1	23.6	23.8	20.1	15.6	11.2	7.2
Çorlu**	3.3	4.2	6.6	11.4	16.2	20.6	22.8	22.6	18.9	14.2	9.7	5.5
Çanakkale**	6.2	6.7	8.4	12.6	17.6	22.2	24.9	24.9	21.0	16.2	12.0	8.3
Gökçeada**	6.7	7.1	9.0	13.3	17.9	22.4	24.5	24.4	20.8	16.1	12.2	8.6
Bozcaada**	8.1	8.5	10.1	13.7	17.7	21.6	23.1	23.1	20.7	16.7	13.0	9.7
Kumköy**	5.8	5.9	7.4	11.1	15.7	20.3	23.1	23.5	20.1	15.9	11.8	8.1
Florya**	5.7	5.9	7.6	11.8	16.5	21.2	23.8	23.9	20.4	16.0	11.9	8.0
Şile*	5.6	5.7	7.2	11.0	15.4	20.0	22.5	22.8	19.5	15.5	11.4	7.8
Bandırma**	5.2	5.9	7.9	12.1	16.7	21.3	23.6	23.7	20.3	15.8	11.1	7.2

\*, \*\*: significant at p/0.05, and p/0.01

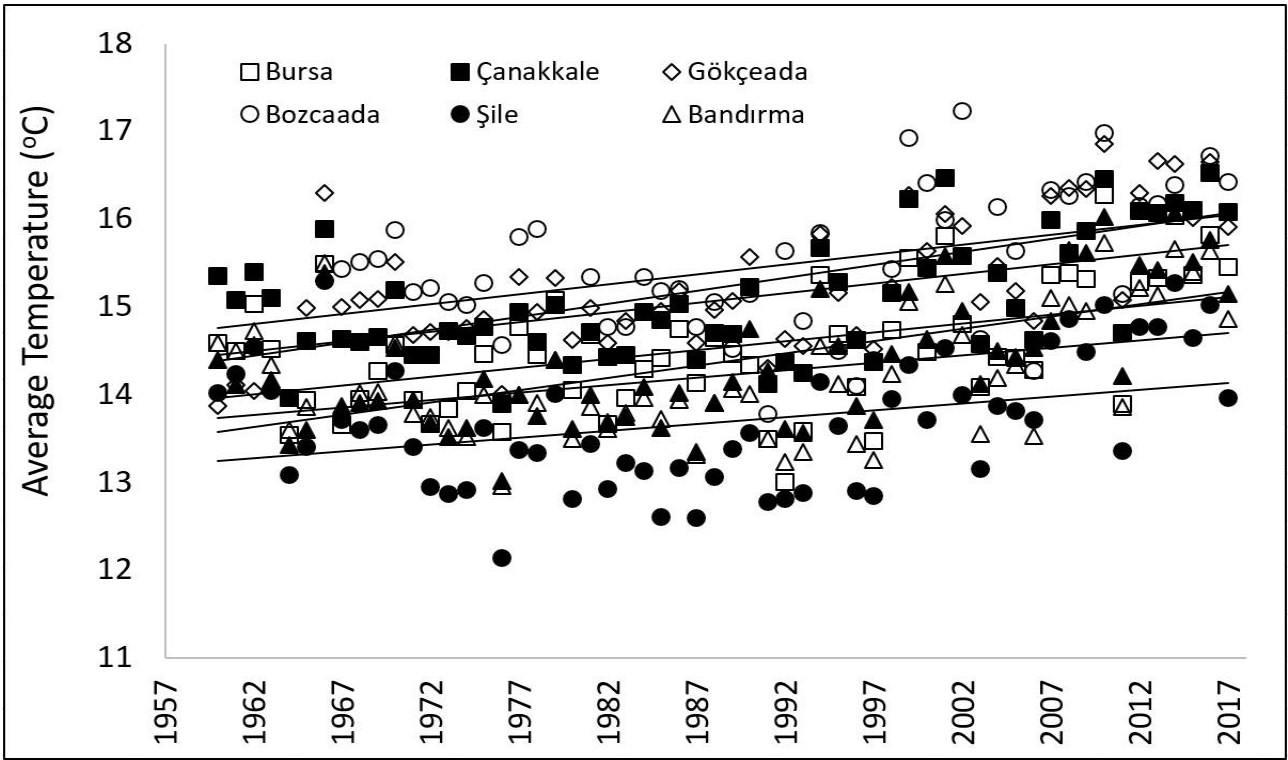
Between 1960 and 2017, there has been an increase in temperature averages of all stations. This increase is 0.8 °C at Şile station, 1.0 °C at Bandırma station, 1.2 °C at Bursa, Çanakkale, Bozcaada and Kumköy stations, 1.3 °C at Edirne, Ipsala, Tekirdağ and Çorlu stations, 1.6 °C at Florya station, 1.7 °C at Kırklareli and Gökçeada stations. When

statistical data was evaluated (IBM SPSS Statistics 23), temperature data showed normal distribution and time-dependent temperature increases were found to be significant at 0.05 level in Şile and 0.01 at all other stations. Figure 2 and 3 shows the average temperature distributions of Gökçeada and Şile.



**Figure 2.** Average temperature changes (North Marmara)  
**Şekil 2.** Ortalama sıcaklık değişimleri (Kuzey Marmara)

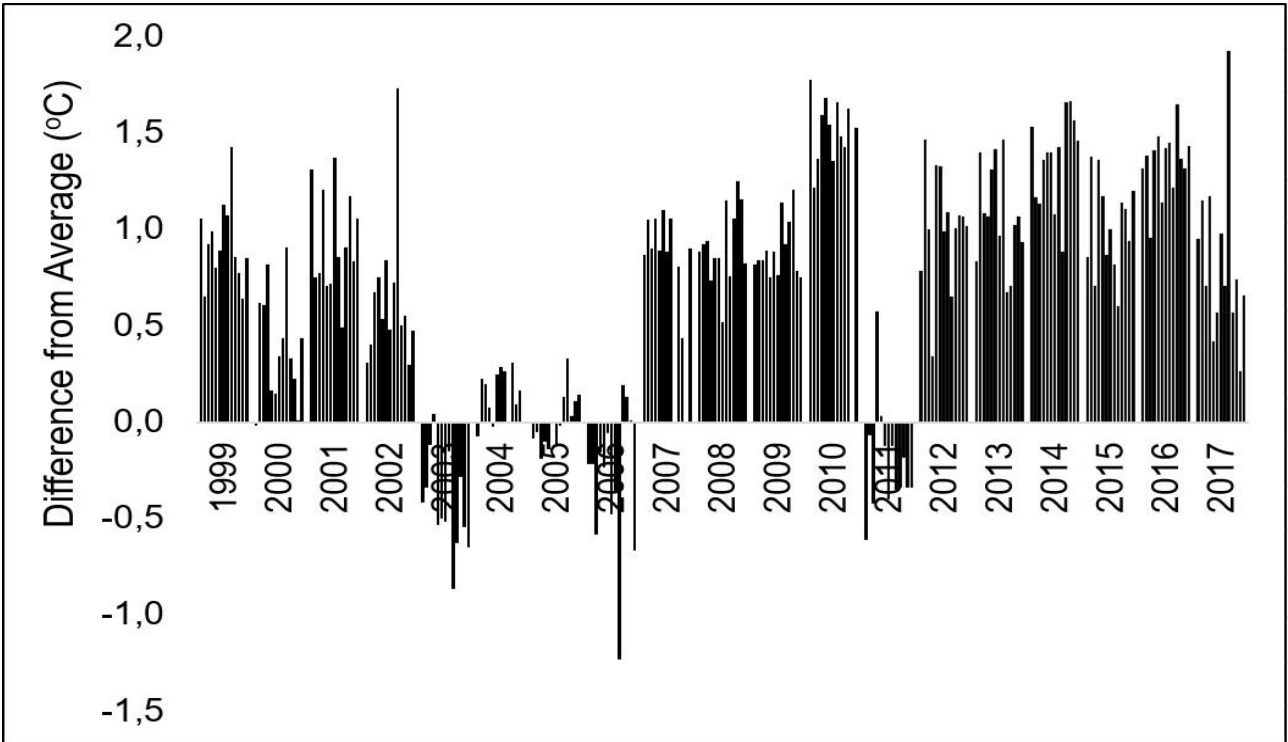




**Figure 3.** Average temperature changes (South Marmara)  
**Şekil 3.** Ortalama sıcaklık değişimleri (Güney Marmara)

The difference in temperature averages for each year from the general average (temperature anomalies) was examined. 15 years of the temperature averages last 20 years have increased over the general average for long years.

Temperature averages remained below the general average for only 3 years and remained close to the average for 2 years. Especially in 11 years of the last 12 years, the average temperatures were above the general average (Figure 4).



**Figure 4.** Temperature anomalies of the last two decades  
**Şekil 4.** Son yirmi yılın sıcaklık anomalileri

It is known that the average land and ocean temperatures around the world show a linear trend. The data sets produced independently an increase in temperature between 0.65 and 1.06 °C (average 0.85 °C) between 1880 and 2012 years (Stocker et al., 2013).

According to NASA global warming surveys, an average temperature increase of 0.9 °C was observed in recent years. As far as NASA, when 136 years of temperature data was analyzed, 17 of the hottest 18 years were achieved after 2001 (Nasa, 2017). The results obtained from the research area clearly show that the region is affected by global warming.

When the changes in the rainfall parameters of the region were examined, no statistically significant increase or decrease was detected.

In the cloudiness rates, a decrease is observed in all stations. Especially in Bursa, Çorlu, Tekirdag and Kırklareli stations, their value of the decrease in the cloudiness rate is above 0.5. Since 1992, in all stations that are subject to research, cloud averages have always been below the general average for many years. The average of only 3 years in the last 25 years was over the overall average for many years, whereas the average of 22 years was below the overall average for many years. Changes in the sunshine duration of the region were not found to be a statistically significant increase or decrease. The shortest period of sunshine in the region was indicated in Kumköy with 5.5 hd<sup>-1</sup> and the longest sunshine duration was 7.4 hd<sup>-1</sup> in Gökçeada.

In this study, it is understood that North-West Turkey is affected by climate change like many regions of the world. In many articles on the causes of climatic changes and global warming, the role of energy use by fossil origin is emphasized. In this part of the study, solar energy and wind energy potentials of the region were analyzed.

## 4.2. Solar energy potential

### 4.2. Güneş enerjisi potansiyeli

When the average solar radiation density and solar energy potential of the region are examined, it is seen that the lowest potential is in Edirne with 124.2 Wm<sup>-2</sup> and 1108.4 kWhm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup>. The highest potential was found at Kırklareli station with 166.8 Wm<sup>-2</sup> and 1488.9 kWhm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup>. These values are considered to be a sufficient level of energy potential for the world as a whole due to the influence of the geography in which the country is located. For comparison, the annual

solar energy potential for München, Germany, is reported as 1112.1 kWhm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup> (GSA, 2022). In Turkey's solar energy potential atlas, the Marmara Region is given as 1400-1450 kWhm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup> (TSEM, 2022).

**Table 3.** Annual solar energy potentials of stations  
*Tablo 3. İstasyonların yıllık güneş enerjisi potansiyelleri*

Stations	Average Annual Power (Wm <sup>-2</sup> )	Annual Energy Potential (kWhm <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> )
Bursa	145.8	1299.3
Edirne	124.2	1108.4
İpsala	155.6	1389.3
Kırklareli	166.8	1488.9
Tekirdağ	152.9	1365.2
Çorlu	151.7	1332.5
Çanakkale	166.4	1485.8
Gökçeada	146.0	1282.5
Bozcaada	148.4	1304.3
Kumköy	146.9	1311.6
Şile	140.6	1255.7
Florya	143.5	1280.7

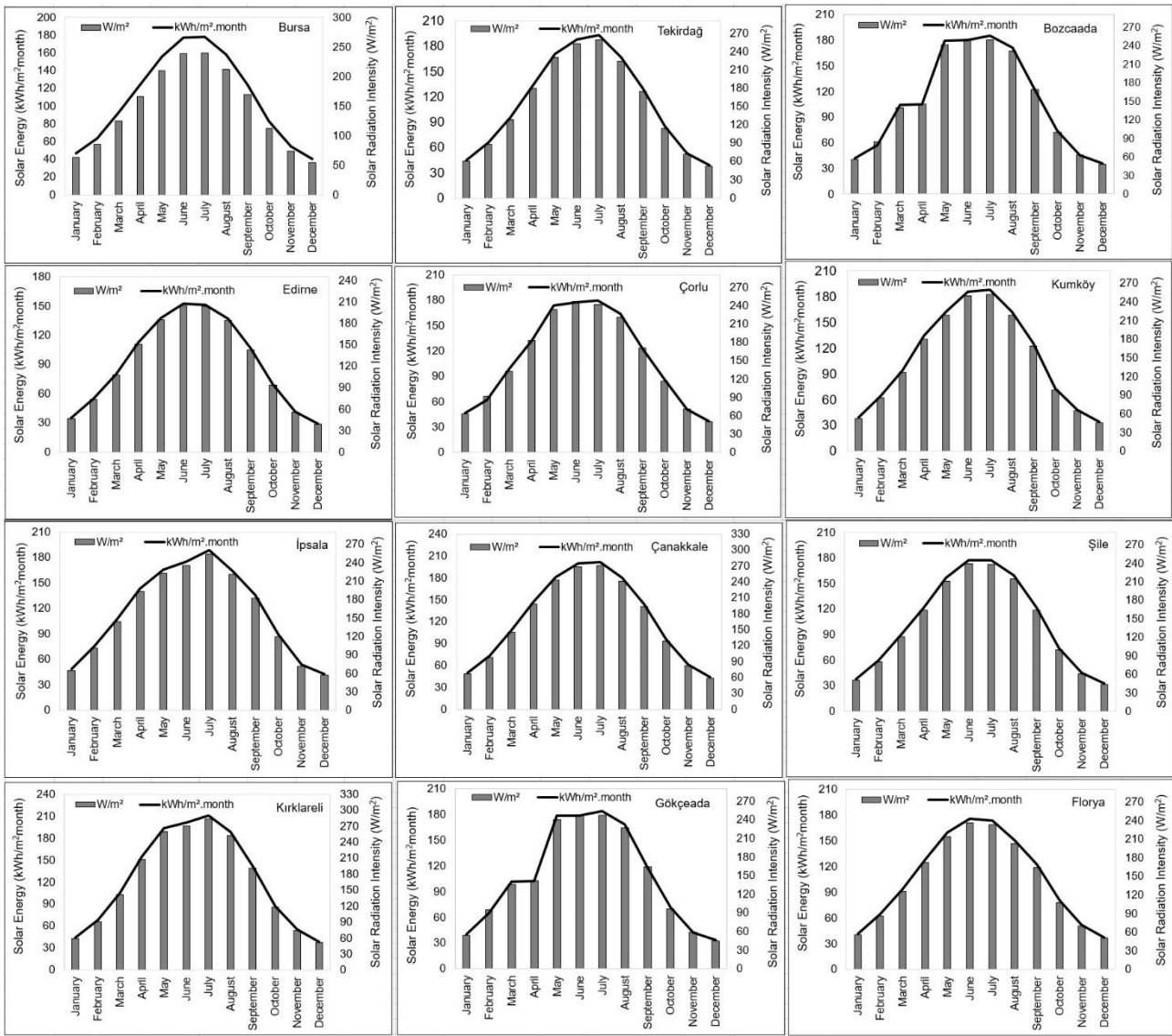
The highest potential values were observed in Kırklareli during the summer and in Çanakkale during the winter months. The lowest potential values belong to Edirne in both summer and winter months. The solar radiation intensity and solar energy potential of the stations are given in Figure 5. Since the meteorological data on solar irradiation from the Bandırma station cannot be obtained in sufficient amounts, it is not included in the calculations of solar energy potential.

The change in solar energy potential will maintain its continuity unless the World's solar cycle and solar activities change. However, due to parameters such as climate change and air pollution, there may be changes in the reach of solar radiation to the surface in metropolitan areas.

## 4.3. Wind energy potential

### 4.3. Rüzgar enerjisi potansiyeli

When the annual wind speed averages for 100 m height were examined in the region, the lowest wind speed averages were found in the range of 4.8 to 6.9 ms<sup>-1</sup> at Kırklareli station. The highest wind speed averages of 8.8 to 13.6 ms<sup>-1</sup> were obtained at the Bandırma station. Minimum wind speeds in all stations were recorded in April, May, June, September and October. Maximum wind speeds were observed mainly in February and December.



**Figure 5.** Solar energy potential  
**Şekil 5.** Güneş enerjisi potansiyeli

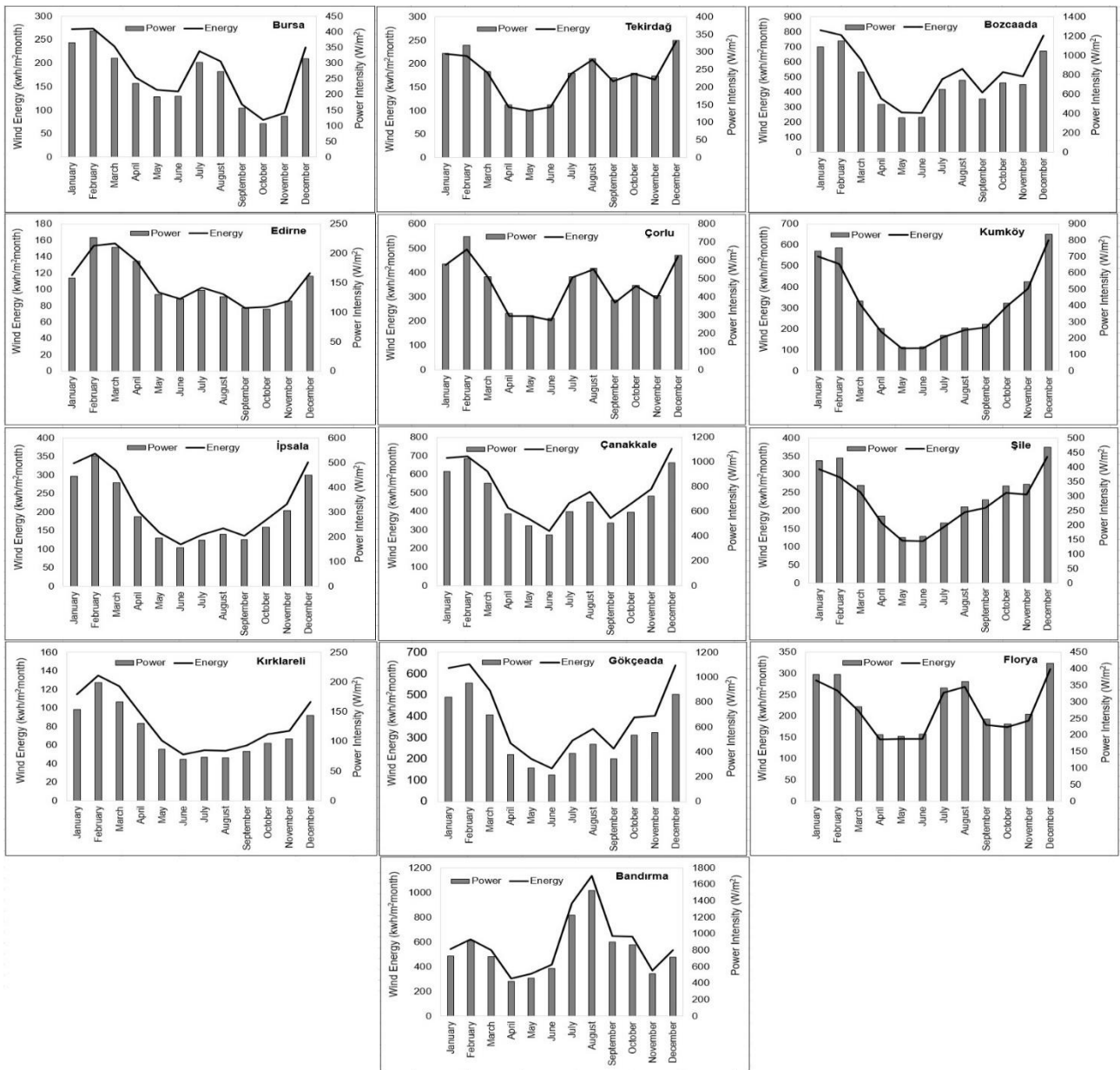
When the wind direction is investigated, it is established that all the stations are wind blow directions N, NNE and NE. In addition, the prevailing wind direction in Edirne station can also be NNW. In Kumköy station, the direction of wind blowing was determined to be quite scattered. In this station, the dominant wind blowing direction is distributed as N, NNE, NE, ENE, E and SSE.

The wind power density and wind energy potential averages of the region were analyzed. The lowest potential is  $115.1 \text{ Wm}^{-2}$  and  $1005.5 \text{ kWhm}^{-2}\text{yr}^{-1}$  in Kırklareli. The highest potential was found at the Bandırma station with  $798.2 \text{ Wm}^{-2}$  and  $700.9 \text{ kWhm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ . In seasonal terms, the highest potential values are at Bozcaada station during the winter

months and it is at Çanakkale station in Spring and November. It was recorded in the summer months and in September and October in the Bandırma station and then the lowest potential values belong to Kırklareli station in all seasons. Wind power density and wind energy potentials of the stations are given in Table 4 and Figure 6. In terms of wind potential, Bandırma, Bozcaada, Çanakkale, Gökçeada and Çorlu world wind potentials are observed at a fairly good level, especially when taken into account. For comparison, the wind power potential for München, Germany is reported as  $160 \text{ Wm}^{-2}$  (GWA, 2022). In a study on Turkey's wind energy potential, the wind power potential for the Marmara Region was given in the range of  $100 \text{ Wm}^{-2}$  and  $>500 \text{ Wm}^{-2}$  (İlkilic, 2012).

**Table 4.** Annual average power and energy potentials of stations  
**Tablo 4.** İstasyonların yıllık ortalama güç ve enerji potansiyelleri

Stations	Average Annual Power (Wm <sup>-2</sup> )	Annual Energy Potential (kWhm <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> )
Bursa	249.6	2184.8
Edirne	149.2	1304.1
İpsala	301.2	2631.8
Kırklareli	115.1	1005.5
Tekirdağ	237.3	2079.1
Çorlu	471.6	4129.0
Çanakkale	696.6	6098.2
Gökçeada	542.4	4743.7
Bozcaada	724.8	6344.2
Kumköy	419.7	3667.6
Şile	303.7	2658.3
Florya	293.1	2569.2
Bandırma	798.2	7007.9



**Figure 6.** Wind energy potential  
**Şekil 6.** Rüzgar enerjisi potansiyeli

The change in wind energy potential can be seen in places close to cities due to climate change and global warming as well as parameters such as excessive construction resulting from the increase in human population. In this study that especially in Edirne, wind speed values have been increasing for years. In the Bursa, Kırklareli, Tekirdağ, Çorlu, Çanakkale, Bozcaada, Kumköy, Şile and Florya stations, it was found that wind speed values were decreasing by years. When evaluated statistically, it was established that wind speed data showed normal distribution. The increase in time-dependent wind speed in Edirne was found to be significant at the level of 0.01. In Bursa, Tekirdağ, Çorlu, Çanakkale, Bozcaada, Kumköy, Şile and Florya stations, the decrease in time-dependent wind speed was occurred to be significant at the level of 0.01. In Kırklareli the significance level was determined as 0.05. On the contrary, no statistically significant change was observed in İpsala, Gökçeada and Bandırma. In the correlation tests performed with the data on the change of wind speed,  $r^2$  values were contrived as 0.7166 and 0.928 in Kumköy and Şile, respectively. The  $r^2$  values of the other stations remained below 0.35. This indicates a decrease or an increase in the wind energy potential in these regions.

## 5. Conclusion

### 5. Sonuçlar

In this study, data from thirteen different stations (site) located around the Marmara Sea in northwest Turkey were used. These data include 58 years between 1960 and 2017. The changes in the temperature of the Marmara region were investigated and it was revealed whether it was affected by global warming. Then, solar energy potential and wind energy potential of the region were analyzed.

When the changes in temperature averages are examined, there is a temperature increase in the whole research area. The increase in temperature averages ranged from 0.8 °C to 1.7 °C. When the temperature averages are compared to the general average for many years (temperature anomalies), it is seen that the average temperature of the 15 years in the last 20 years has increased over the years. Especially the average temperatures of 11 years of the last 12 years have been above the general average for long years. Solar energy potential was calculated between 1108.4 and 1488.9 kWhm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup> in the region. Kırklareli has the most solar energy potential in the region. The average annual wind speed of 100 m above ground in the region is

between 4.8 and 13.6 ms<sup>-1</sup>. The wind direction is mostly direction in N, NNE and NE in all stations.

The wind power density of the region is between 115.1 and 798.2 Wm<sup>-2</sup> and the wind energy potential is between 1005.5 and 7007.9 kWhm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup>. Bandırma is the region with the highest wind area. In this study that especially in Edirne, wind speed values have been increased by years. In the Bursa, Kırklareli, Tekirdağ, Çorlu, Çanakkale, Bozcaada, Kumköy, Şile and Florya stations, it was found that wind speed values were decreasing by years. In Kumköy and Çile, wind speed has decreased considerably over the years. It is evaluated that this situation is related to constructing.

When the results obtained from the research are examined, it can be clearly seen that the usage of fossil-based power plants can be reduced by the constructive assistance of using solar and wind energy potentials.

## Acknowledgement

### Teşekkür

The authors would like to thank “T.C. General Directorate of State Meteorological Affairs”, “Regional Meteorological Stations” and “Uludağ University Faculty of Agriculture” for their contributions to the realization of this study.

## Nomenclature

### Semboller

$Z_0$	: Roughness length born of obstacles on the earth surface, m
$x$	: Daily mean of the measured meteorological value
$v$	: Wind speed, ms <sup>-1</sup>
$h$	: Height of Wind speed, m
$u^*$	: Wind speed altitude factor
$k$	: Von Karman Constant
$M_m$	: Monthly mean value
$M_y$	: Yearly mean value
$n$	: Days in the month
$m$	: Days in the year
$r^2$	: Correlation coefficient
$E$	: Energy, kWhm <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup>
$I$	: Solar radiation, Wm <sup>-2</sup>
$A$	: Area, m <sup>2</sup>
$t$	: Time, h
$\eta$	: Yield
$P$	: Power, kW

## Author contribution

### Yazar katkısı

Concept/Design: TB, AV; Data Collection and/or Processing: TB, AAA; Data analysis and interpretation: AV; Literature Search: TB, AAA; Drafting manuscript: TB, AAA, AV; Critical revision of manuscript: TB, AAA, AV

## Declaration of ethical code

### Etik beyanı

The authors declare that all of the rules stated to be followed within the scope of the “Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive” were followed, and none of the actions specified under the title of “Actions Contrary to Scientific Research and Publication Ethics” have been taken.

## Conflicts of interest

### Çıkar çatışması beyanı

The authors declare that they have no conflict of interest.

## References

### Kaynaklar

Abdullah, M.A., Agalgaonkar, A.P., & Muttaqi, K.M. (2014). Climate change mitigation with the integration of renewable energy resources in the electricity grid of New South Wales, Australia. *Renewable Energy*, 66, 305-313. <https://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.12.014>

Al-Abbadi, N.M. (2005). Wind energy resource assessment for five locations in Saudi Arabia. *Renewable Energy*, 30(10), 1489-1499. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.11.013>

Amponsah, N.Y., Troldborg, M., Kington, B., Aalders, I., & Hough, R.L. (2014). *Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of lifecycle considerations. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 461-475. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.087>

Bose, B.K. (2010). Global warming: energy, environmental pollution, and the impact of power electronics. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 4(1), 6-17. <https://doi.org/10.1109/MIE.2010.935860>

Boyle, G. (2004). *Renewable energy: power for a sustainable future* (2nd ed.). United Kingdom: Oxford University Press.

Carbon Trust. The carbon emissions generated in all that we consume. (2019, January 29)

<https://www.carbontrust.com/media/84936/ctc603-the-carbon-emissions-generated-in-all-that-we-consume.pdf>

Chatzimouratidis, A.I., & Pilavachi, P.A. (2008). Multicriteria evaluation of power plants impacts on the living standard using the analytic hierarchy process. *Energy Policy*, 36(3), 1074-89. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.11.028>

Covenant of Mayors (2010). *Technical annex to the seap template instructions document: the emission factors*. [https://www.eumayors.eu/IMG/pdf/technical\\_annex\\_en.pdf](https://www.eumayors.eu/IMG/pdf/technical_annex_en.pdf)

Elsayed, M.A., Matthews, R., & Mortimer, N.D. (2003). *Carbon and energy balances for a range of biofuels options*. Project Number B/B6/00784/REP URN 03/836. Resources Research Unit, Sheffield Hallam University. [https://www.researchgate.net/publication/235704342\\_Carbon\\_and\\_Energy\\_Balances\\_for\\_a\\_Range\\_of\\_Biofuels\\_Options](https://www.researchgate.net/publication/235704342_Carbon_and_Energy_Balances_for_a_Range_of_Biofuels_Options)

Gasch R, Twele, J (2011). *Windkraftanlagen*. (7th ed.) Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, Springer Fachmedien; 587 p.

Google Earth (2019). (2019, January 23). <https://www.google.com.tr/intl/tr/earth/download/gep/agree.html>

GSA-Global Solar Atlas. (2022, January 15). <https://globalsolaratlas.info/map?c=48.134246,11.431274,11&s=48.131726,11.572723&m=site>

GWA-Global Wind Atlas. (2022, January 15). <https://globalwindatlas.info/>

Hernandez-Ochoa, I.M., Asseng, S., Kassie, B.T., Xiong, W., Robertson, R., Luz Pequeno, D.N., Sonder, K., Reynolds, M., Babar, M. D., Miland, A. M., & Hoogenboom, G. (2018). Climate change impact on Mexico wheat production. *Agricultural and Forest Meteorology*, 263, 373-387. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.09.008>

Hondo, H. (2005). Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case. *Energy*, 30(11-12), 2042-56. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.07.020>

İlkiliç, C. (2012). Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1165-1173. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.021>

Jungbluth, N. (2005). Life cycle assessment of crystalline photovoltaics in the Swissecoinvent database. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 13(5), 429-46. <https://doi.org/10.1002/pip.614>

- Klug, H. (2001). *Basic Course in Wind Energy*. German Wind Energy Institute (DEWI), Istanbul.
- Lenzen, M. (1999). Greenhouse gas analysis of solar-thermal electricity generation. *Solar Energy*, 65(6), 353-68. [https://doi.org/10.1016/S0140-6701\(99\)98999-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6701(99)98999-3)
- Lenzen, M. (2008). Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: a review. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2178-99. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.01.033>
- Longa, D. F., & Zwaan, B. V. (2017). Do Kenya's climate change mitigation ambitions necessitate large-scale renewable energy deployment and dedicated low-carbon energy policy? *Renewable Energy*, 113, 1559-1568. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.06.026>
- Mentens, K. (2011). *Photovoltaic*. (1st ed.) München: Carl Hanser Verlag.
- Nasa. Global Temperature. Global Climate Change. (2017, April 23) <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
- Nasa. How climate is changing? Global Climate Change. (2019, January 29) <https://climate.nasa.gov/effects/>
- Patlitzianas, K.D., Kagiannas, A.G., Askounis, D.T., & Psarras, J. (2005). The policy perspective for RES development in the new member states of the EU. *Renewable Energy*, 30, 477-492. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.07.012>
- Pelletier, J.D. (2006). The sensitivity of playa windblown-dust emissions to climatic and anthropogenic change. *Journal of Arid Environments*, 66(1), 62-75. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.10.010>
- Santamouris, M. (2014). On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. *Energy and Buildings*, 82,100-113. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.022>
- Soysal, M.İ. (2000). Principles of Biometry. Tekirdağ: Trakya University Faculty of Agriculture Paper No: 95; 332 p.
- Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P.M. (Eds.). (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Working Group 1 contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1th ed.) Cambridge University press.
- TSEM-Turkey Solar Energy Map. Republic of Turkey Ministry of Energy and Natural Resources (2022, January 15). <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>
- TSMS- Turkish State Meteorological Service. (2008, March 12). [www.meteor.gov.tr](http://www.meteor.gov.tr)
- TUIK- Turkish Statistical Institute. National Population Census. (2018, October 22). <http://www.turkstat.gov.tr>
- Varun., Prakash, R., & Bhat, I.K. (2012). Life cycle greenhouse gas emissions estimation for small hydropower schemes in India. *Energy*, 44(1), 498-508. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.05.052>
- Velmurugan, V., & Sridhar, K. (2008). Prospects and scopes of the solar pond: a detailed review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(8), 2253-63. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.03.011>
- Vindmølleindustrien. Danish Wind Industry Association, Guide Tour. (2019, January 10). <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/en/stat/unitsw.htm>
- Xie, W., Huang, J., Wang, J., Cui, Q., Robertson, R., & Chen, K. (2020). Climate change impacts on China's agriculture: The responses from market and trade. *China Economic Review*, 62, 101256. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2018.11.007>
- Zahoransky, R., Allelein, H.J., Bollin, E., Oehler, H., & Schelling, U. (2010). *Energietechnik Systeme zur Energieumwandlung* (5th ed.) Wiesbaden; Vieweg+Teubner Verlag, Springer Fachmedien.

## Uçak eğim kontrol sistemi için ölüm oyunu optimizasyonuna dayalı PID-F denetleyicisi tasarımı

*PID-F controller design based on battle royale optimization for aircraft pitch control*

Ali Kıvanç ŞAHİN<sup>1,a</sup>, Ömür AKYAZI<sup>2,b</sup>, Erdiñ ŞAHİN<sup>\*3,c</sup>, Oğuzhan ÇAKIR<sup>4,d</sup>

<sup>1</sup>Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Erzurum

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Trabzon

<sup>3</sup>Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Giresun

<sup>4</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 12.10.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 22.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 19.02.2022

### Öz

Bu makalede uçak eğim kontrol (UEK) sistemi için daha iyi bir dinamik ve kararlı sistem tepkisi elde edebilmek amacıyla PID-F denetleyicisi önerilmiştir. Önerilen PID-F denetleyicisinde ( $k_p$ ) kazancı ile P oransal etkiyi, ( $k_i$ ) kazancı ile I integral etkiyi, ( $k_d$ ) kazancı ile D türev etkisini ve ( $k_f$ ) kazancı ile F türev filtresini temsil etmektedir. Birbirinden bağımsız parametreler olan  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  ve  $k_f$  'nin en uygun değerlerini bulmak için ölüm oyunu optimizasyonu (BRO) algoritmasından yararlanılmıştır. BRO tabanlı PID-F denetleyicinin performansı BRO tabanlı PID denetleyicisiyle karşılaştırma yapılarak doğrulanmıştır. Ayrıca daha kapsamlı performans değerlendirmesi yapabilmek için BRO tabanlı PID-F denetleyicisi literatürde daha önceden aynı UEK sistemi için önerilen harris şahinleri optimizasyonu (HHO) ve atom arama optimizasyonu (ASO) kullanarak tasarlanan PID denetleyicileriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma için geçici tepki, frekans tepkisi ve kutup-sıfır analizlerinden yararlanılmıştır. Karşılaştırmadan elde edilen sonuçlara göre önerilen BRO/PID-F denetleyicisinin diğer denetleyicilere göre UEK sisteminin geçici ve frekans tepkilerini iyileştirme açısından daha üstün olduğunu göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Ölüm oyunu optimizasyonu algoritması (BRO), PID-F denetleyicisi, Uçak eğim kontrol (UEK) sistemi

### Abstract

In this article, PID-F controller is proposed for aircraft pitch control (APC) system in order to obtain a better dynamic system response. PID-F controller represents P proportional action with gain ( $k_p$ ), I integral action with gain ( $k_i$ ), D derivative action with gain ( $k_d$ ) and F derivative filter with gain ( $k_f$ ). Battle royale optimization (BRO) algorithm is used to find the optimal values of the independent parameters  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  and  $k_f$ . The performance of the BRO based PID-F controller has been verified by comparing with the BRO based PID controller. In addition, in order to make a more comprehensive performance evaluation, the BRO based PID-F controller is compared to the PID controllers existing in the literature for the same aircraft pitch control system, designed using harris hawks optimization (HHO) and atom search optimization (ASO). Transient response, frequency response and pole-zero analyses are used for comparative analysis. The results obtained from the simulations show that the proposed BRO/PID-F controller is superior to other controllers in terms of improving the transient and frequency responses of the APC system.

**Keywords:** Battle royale optimization algorithm (BRO), PID-F controller, Aircraft pitch control (APC) system

\*c Erdiñ ŞAHİN; erdinc.sahin@giresun.edu.tr, Tel: (0454) 310 17 40, orcid.org/0000-0002-9740-599X

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0003-4539-6419

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-6266-2323

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0002-1816-4682



## 1. Giriş

### 1. Introduction

Uçak endüstrisindeki teknolojik gelişmelere rağmen uçak kazalarının sayısı da önemli ölçüde artmıştır. Kaza sayısındaki bu artış can ve mal kaybının da artışı beraberinde getirmektedir. Bu uçak kazalarının büyük çoğunluğu uçak kontrolünün kaybindan dolayı gerçekleşmektedir. Kontrol kayıpları için pilotaj hatası, olumsuz hava koşulları ve iyi tasarlanmamış kontrol üniteleri örnek olarak verilebilir (Yıldırım & Savaş, 2009).

Uçağın kontrol ünitelerini iyileştirmek için araştırmacılar farklı denetleyiciler önermişlerdir. Oransal-integral (PI) denetleyici (Du vd., 2009), oransal-integral-türevsel (PID) denetleyici (Vishal & Ohri, 2009; Izci vd., 2020; Kaçtı vd., 2020; Chowdhury vd., 2017), kesir dereceli oransal-integral-türevsel (FOPID) denetleyici (Altıntaş & Aydın, 2016), bulanık mantık (FL) denetleyici (Wahid & Rahmat, 2010; Sayar & Ertunç, 2018), bulanık mantık oransal-integral-türevsel (FLPID) denetleyici (Zaeri vd., 2011), doğrusal kuadratik regülatör (LQR) (Radhakrishnan & Swarup, 2020) ve kayan kipli (SM) denetleyici (Khalid vd., 2019) uçak eğim kontrol (UEK) sistemi için önerilen denetleyicilerdir. Literatürde UEK sistemi için önerilen doğrusal ve doğrusal olmayan denetleyiciler olmasına rağmen bu kontrol teknikleri arasında en çok kullanılan PID denetleyicisidir. PID denetleyicisi basit ve uygulanabilir yapısıyla birlikte parametre değişimleri ve model belirsizliğine karşı sağlam bir performans gösterdiğinden kontrol sistemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. PID denetleyicisinin parametre değerlerini ayarlamak oldukça önemlidir. Genelde bu denetleyicinin parametre değerlerini ayarlamak için Ziegler-Nichols, kazanç ve faz marjı, Cohen-Coon ve kutup yerleştirme gibi yöntemler literatürde sıklıkla tercih edilmiştir. Ancak bu yöntemler en uygun parametre değerlerini belirlemede yetersiz kaldığından son zamanlarda meta-sezgisel algoritmalar aracılığıyla PID denetleyicisinin parametre değerleri belirlenmiştir. Literatürde PID denetleyicisinin parametre değerlerini belirlemek için farklı yaklaşımlı algoritmalar kullanılmış olup UEK sisteminin dinamik tepkisinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Atom arama optimizasyonu (Izci vd., 2020), harris şahinleri optimizasyonu (Izci vd., 2020), genetik algoritması (Vishal & Ohri, 2009) henry gaz çözünürlüğü algoritması (Kaçtı vd., 2020) literatürde uçak eğim kontrol sistemi için kullanılan algoritmalarından bazılarıdır. Sistem tepkisinin iyileştirilmesinde seçilen optimizasyon algoritmasının yanı sıra amaç fonksiyonun da

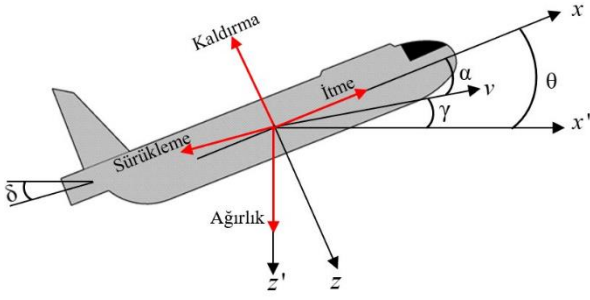
belirlenmesi önemlidir. Kontrolcünün parametre değerleri belirlenirken genellikle hatanın mutlak değerinin integrali (IAE), hatanın zaman ağırlıklı mutlak değerinin integrali (ITAE), hatanın karesinin integrali (ISE) ve hatanın karesinin zaman ağırlıklı integrali (ITSE) gibi hata tabanlı performans indeksleri tercih edilir. Öte yandan maksimum aşım, oturma zamanı, yükselme zamanı tepe zamanı gibi sistemin geçici karakteristik değerlerinden oluşan amaç fonksiyonları da kullanılmaktadır.

Bu çalışmada filtreli-oransal-integral-türevsel olarak adlandırılan PID-F denetleyicisi kullanılmış olup UEK sistem dinamik tepkisinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. PID-F denetleyicisinin parametre değerini belirleyebilmek için ölüm oyunu optimizasyonu algoritması (BRO) kullanılmıştır. Ayrıca denetleyicinin parametrelerinin belirlenmesinde ZLG amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Zwee Lee Gaing tarafından önerilen ZLG sistemin geçici karakteristik değerlerine ve kalıcı-durum hatasına dayanan bir amaç fonksiyonudur (Gaing., 2004). Önerilen BRO/PID-F denetleyicisinin üstünlüğünü gösterebilmek için BRO-PID ile literatürde var olan HHO-PID (Izci vd., 2020) ve ASO-PID (Izci vd., 2020) denetleyicileriyle performans karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırmada birim basamak tepkisi, Bode ve kutup-sıfır analizlerinden yararlanılmıştır. Makalenin geriye kalan kısımları şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2’de UEK sisteminin modellenmesinden, BRO algoritmasından ve BRO tabanlı PID-F denetleyicisinin UEK sistemine uygulanmasından bahsedilmiştir. Bölüm 3’te UEK sistemine ait simülasyon sonuçları sunulmuştur. Bölüm 4’te ise sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

## 2. Uçak eğim kontrol sisteminin modellenmesi

### 2. Modeling of aircraft pitch control system

Şekil 1’de bir uçağa etki eden temel kuvvetler eksenler üzerinde gösterilmiştir. Burada sabit seyirde olan uçağın yüksekliği ve hızı sabit alınarak uçağın itme, sürüklenme, ağırlık ve taşıma kuvvetleri x ve y eksenlerinde dengelenmiştir. Bununla birlikte uçak eğim açısının tüm koşullar altında hızının değişmeyeceği kabul edilmiştir. Bu durumlar göz önünde bulundurularak, uçağın boyuna hareket denklemleri (1)-(3)’te verilmiştir (Control Tutorials for MATLAB and Simulink, n.d.).



Şekil 1. Uçağa etki eden temel koordinat eksenler ve kuvvetler

Figure 1. Basic coordinate axes and forces acting on the aircraft

$$\dot{a} = \mu\Omega\sigma \left[ -(C_L + C_D)a + \frac{1}{(\mu - C_W)}q - (C_W \sin \gamma)\theta + C_L \right] \quad (1)$$

$$\dot{q} = \frac{\mu\Omega}{2i_{yy}} \left[ [C_M - \eta(C_L + C_D)]a + [C_M + \sigma C_M(1 - \mu C_L)]q + \eta(C_W \sin \gamma)\delta \right] \quad (2)$$

$$\theta = \Omega q \quad (3)$$

(1)-(3)'te verilen denklemlerde  $a$  uçağın havadaki açısını,  $q$  eğim oranını,  $\theta$  eğim açısını,  $\delta$  havalanma sapma açısını,  $C_L$  taşıma sabitini,  $C_D$  sürüklenme sabitini,  $C_M$  moment sabitini,  $C_T$  itme sabitini,  $i_{yy}$  normalize edilmiş atalet momentini,  $\gamma$  uçuş yolu açısını temsil etmektedir.

$$\mu = \frac{\rho S \bar{c}}{4m} \quad (4)$$

$$\eta = \mu \sigma C_M \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{1}{1 + \mu C_L} \quad (6)$$

$$\Omega = \frac{2U}{\bar{c}} \quad (7)$$

(4)-(7)'de görüleceği üzere  $m$  uçağın kütlesini,  $\mu$  havanın yoğunluğunu,  $S$  uçak kanadının alanını,  $\bar{c}$  ortalama veter uzunluğunu,  $U$  denge durumundaki uçuş hızını temsil etmektedir.

Bu çalışmada Boeing ticari uçaklarından birine ait olan sayısal veriler kullanılmış olup (8)-(10)'da verilmiştir (Control Tutorials for MATLAB and Simulink, n.d.).

$$\dot{a} = -0.313a + 56.7q + 0.232\delta \quad (8)$$

$$\dot{q} = -0.0139a - 0.426q + 0.0203\delta \quad (9)$$

$$\dot{\theta} = 56.7q \quad (10)$$

Yukarıda verilen denklemlerin tüm başlangıç koşulları sıfır alınıp Laplace dönüşümü uygulandığında UEK sisteminin transfer fonksiyonu (14)'deki gibi elde edilir (Control Tutorials for MATLAB and Simulink, n.d.).

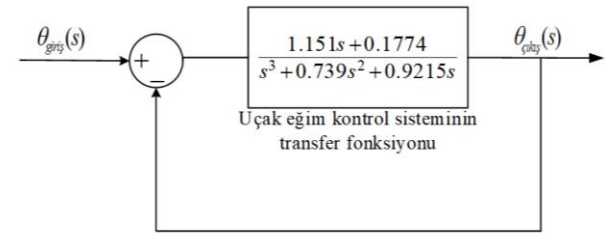
$$sA(s) = -0.313A(s) + 56.7Q(s) + 0.232\Delta(s) \quad (11)$$

$$sQ(s) = -0.0139A(s) - 0.426Q(s) + 0.0203\Delta(s) \quad (12)$$

$$s\theta(s) = 56.7Q(s) \quad (13)$$

$$G_{UEK}(s) = \left\{ \frac{\Theta(s)}{\Delta(s)} = \frac{1.151s + 0.1774}{s^3 + 0.739s^2 + 0.9215s} \right. \quad (14)$$

Şekil 2'de denetimsiz kapalı çevrim UEK sisteminin blok diyagramı gösterilmektedir.

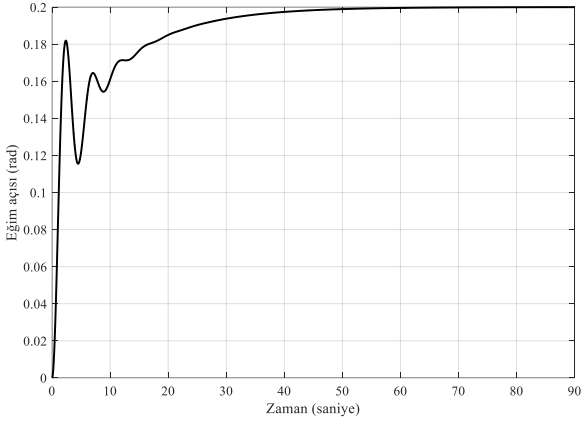


Şekil 2. Denetimsiz kapalı çevrimli UEK sisteminin blok diyagramı

Figure 2. Block diagram of uncontrolled closed loop APC system

Uçak eğim kontrol sisteminde Şekil 2'de gösterilen transfer fonksiyonunun ve 0.2 radyan giriş sinyali ( $\delta$ ) değerlerinin tercih edilmesinin sebebi literatürde var olan PID denetleyicileriyle karşılaştırma yapmak ve PID-F denetleyicisindeki filtrenin pozitif etkisini göstermektir. 0.2 radyan giriş sinyali olarak alınan denetimsiz kapalı çevrim birim basamak tepkisi Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3'te denetimsiz kapalı çevrimli UEK sisteminin verilen giriş sinyaline karşılık çıkış sinyali değerine bakıldığında yerleşme zamanının çok uzun olduğu görülmektedir. Dolayısıyla denetimsiz kapalı çevrimli UEK sisteminin yerleşme zamanını iyileştirebilmek için etkili bir

denetleyicinin tasarlanması gerektiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 3. Denetimsiz uçak eğim kontrol sisteminin birim basamak tepkisi

Figure 3. Step response of uncontrolled aircraft pitch control system

## 2.1. Ölüm oyunu optimizasyonu (BRO) algoritması

### 2.1. Battle royale optimization (BRO) algorithm

2020 yılında Farshi tarafından önerilen ölüm oyunu optimizasyonu dijital bir oyun olan PUBG'den esinlenerek tasarlanan popülasyon tabanlı bir algoritmadır (Rahkar Farshi, 2021). Ayrıca doğrusallaştırılmış dörtlü tank sisteminin sıvı seviyesinin kontrolünde (Şahin vd., 2021), araç seyir sisteminin kontrolünde (Şahin vd., 2021) ve 6 eksenli PUMA 560 robot kolunun ters kinematik probleminde (Rahkar Farshi, 2021) etkinliği ve üstünlüğü kanıtlanmış bir algoritmadır. Bu algoritmada her bir birey asker olarak temsil edilmiş olup askerler silahını kullanarak kendine en yakın konumdaki olan düşman askeri yaralamaya çalışır (Şahin vd., 2021). Yaralanan askerin hasar seviyesi artışı aşağıdaki gibidir.

$$x_i.hasar = x_i.hasar + 1 \quad (15)$$

Burada  $x_i.hasar$  popülasyon içerisindeki  $i$ 'inci askerin aldığı hasar seviyesini belirtmektedir. Yaralanan askerin aldığı hasar seviyesinin sıfırlanması için iki durum vardır. Birinci durum yaralanan asker sonraki iterasyonda rakibine hasar verirse aldığı hasar seviyesi sıfırlanır. İkinci durumda yaralanan askerin aldığı hasar seviyesi arttıkça problem uzayında tanımlanan eşik değerine bakılır. Problem uzayından tanımlanan eşik değerini geçtiğinde ise asker ölür. (16)'daki denklem kullanılarak ölen asker  $d$  boyutlu problem uzayında tekrar canlandırılarak konumlandırılır.

Böylece askerin aldığı hasar seviyesi tekrar sıfırlanmış olur.

$$x_{hasar,d} = x_{hasar,d} + r(x_{en\ iyi,d} - x_{hasar,d}) \quad (16)$$

(16)'da belirtilen  $r$ , 0 ile 1 arasında rastgele olarak değişen bir sayıyı,  $x_{hasar,d}$  yaralanan askerin  $d$  boyuttaki konumunu ve  $x_{en\ iyi,d}$  ise  $d$  boyutta şimdiye kadar bulunan en iyi çözümü ifade etmektedir.

$$x_{hasar,d} = r(ub_d - lb_d) + lb_d \quad (17)$$

(17)'de  $lb_d$  ve  $ub_d$  sırasıyla  $d$  boyutlu problem uzayındaki alt sınır ve üst sınırı belirtmektedir. İterasyon süresi boyunca arama uzayı küçülüp en iyi çözüme ulaşmaya çalışır. En iyi çözüme ulaşmak için kullanılan denklem aşağıdaki gibidir.

$$\Delta = \Delta + \text{round}\left(\frac{\Delta}{2}\right) \quad (18)$$

(18)'de verilen denklemde  $\Delta$ 'ın başlangıç değeri  $\Delta = \log_{10}(\text{İterasyon Sayısı})$  olarak belirlenir.

$$lb_d = x_{en\ iyi,d} - \overline{SD}(x_d) \quad (19)$$

$$ub_d = x_{en\ iyi,d} + \overline{SD}(x_d) \quad (20)$$

$lb_d$  ve  $ub_d$  (19) ve (20)'de verilen denkleme göre güncellenir. Ayrıca alt ve üst sınır olan  $lb_d$  ile  $ub_d$  orijinal sınırları aştığında bu parametre değerleri sınır değerlerinin değerini alır.  $\overline{SD}(x_d)$  ise  $d$  boyutlu arama uzayındaki bütün popülasyonun standart sapmasını belirtir. BRO algoritmasına ait işlem basamakları aşağıda verilmektedir.

Adım 1. BRO algoritmasında kullanılan parametre değerlerini (popülasyon sayısını, iterasyon sayısını ve eşik değerini) tanımla ve askerlerin pozisyonlarını rastgele olarak başlat.

Adım 2.  $i$ 'inci askerle kendisine konum olarak en yakın olan  $j$ 'inci askeri karşılaştır.

Adım 3. Yaralanan askeri '*yaralı*' ve galip gelen askeri '*galip*' olarak iki farklı değişkene ata.

Adım 4. Yaralı askerin almış olduğu hasar seviyesi eşik değerinden fazla ise (16)'yı kullan ve askeri tekrar konumlandır. Ayrıca askerin almış olduğu hasar ve galibiyet seviyesini sıfırla. Eğer ki askerin aldığı hasar seviyesi eşik değerinden küçükse (15)'e göre tekrar konumlandırıp yaralı askerin hasar seviyesini bir arttır.

Adım 5. Galip gelen askerin yaralanma durumunu sıfıra eşitle.

Adım 6.  $(f(x_{hasar}))$ 'i güncelle.

Adım 7. (18)'i kullanarak problem uzayının boyutunu küçült.

Adım 8. En iyi amaç fonksiyonuna karşılık gelen askerin konumunu seç.

## 2.2. BRO tabanlı PID-F denetleyicisinin uçak eğim kontrol sistemine uygulanması

### 2.2. Implementation of BRO-based PID-F controller to aircraft pitch control system

PID denetleyicisi tasarlanırken yapısındaki türevsel bileşen (D) saf olarak kullanılmak istenilmez. Çünkü türev vuruş etkisi hata sinyalinin ani değişime neden olduğundan denetleyici sinyalinin üst sınır değerine ulaşmasını sağlar (Şahin, 2019). PID denetleyicisindeki türevsel bileşene birinci dereceden alçak geçiren bir filtre eklenerek türev vuruş etkisi önlemek amacıyla bu makalede PID-F denetleyicisi önerilmiştir. PID-F ve PID denetleyicisinin transfer fonksiyonları (21) ve (22)'de sırasıyla verilmiştir. Burada  $k_p$  oransal kazancı,  $k_i$  integral kazancını,  $k_d$  türevsel kazancı ve  $k_f$  türev filtre kazancını temsil etmektedir.

$$G_{PID}(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s \quad (21)$$

$$G_{PID-F}(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s \frac{k_f}{s+k_f} \quad (22)$$

Bu çalışmada BRO/PID-F denetleyicisinin parametre değerlerini ayarlayabilmek ve literatürde var olan PID denetleyicileriyle performans karşılaştırması yapmak için ZLG amaç fonksiyonu kullanılmıştır. ZLG amaç fonksiyonunun matematiksel ifadesi aşağıda verilmektedir (Gaing, 2004).

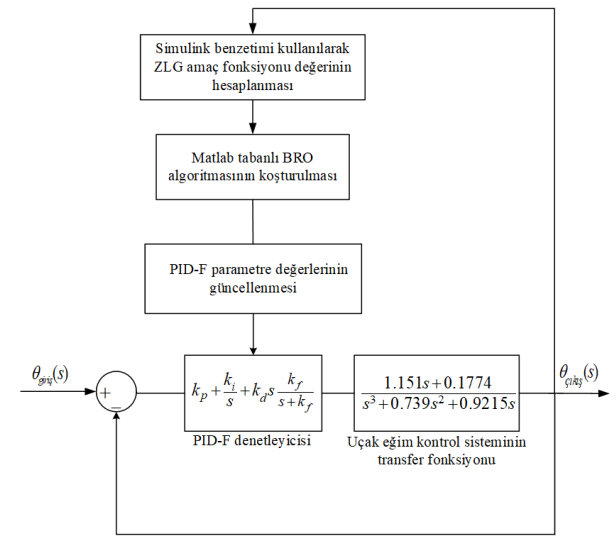
$$ZLG = (1 - e^{-\beta})(M_p + E_{ss}) + e^{-\beta}(t_s - t_r) \quad (23)$$

(23)'te görüleceği üzere  $M_p$  maksimum aşımı,  $E_{ss}$  kalıcı-durum hatasını,  $t_s$  yerleşme zamanını,  $t_r$  yükselme zamanını temsil etmektedir.  $\beta$  ise ağırlık faktörünü belirtmekte olup genellikle 1 seçilmektedir (Gaing, 2004; Ayas & Şahin, 2021; Izci vd., 2021). Ayrıca önerilen BRO algoritmasının parametre değerleri Tablo 1'de listelenmiştir.

**Tablo 1.** BRO algoritmasının parametreleri  
*Table 1. The parameters of the BRO algorithm*

Parametreler	Değeri
Askerlerin (popülasyon) sayısı	50
İterasyon sayısı	100
Eşik değeri	3
$[k_p, k_i, k_d, k_f]$ için alt sınırlar	[0.001 0.001 0.001 0.001]
$[k_p, k_i, k_d, k_f]$ için üst sınırlar	[100 100 100 400]

Şekil 4'te ise uçak eğim açısının kontrolü için önerilen BRO/PID-F yaklaşımının blok diyagramı gösterilmiştir.



**Şekil 4.** Uçak eğim kontrolü için önerilen BRO/PID-F yaklaşımı  
*Figure 4. Proposed BRO/PID-F approach for aircraft pitch control*

BRO algoritmasıyla PID-F denetleyicisinin en uygun parametre değerlerini bulabilmek için ilk olarak Tablo 1'de verilen değerler Matlab'de tanıtılmıştır. Daha sonra Simulink'te modellenen birim geri beslemeli PID-F denetleyicisine sahip UEK sisteminin algoritmadaki her bir asker üyesi için zaman çözüm kümesinde simülasyonu yapılmış olup UEK sistemi eğim açısının tepki eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca eğim açısı tepki grafik eğrileri elde edilirken Matlab'deki 'stepinfo' komutu kullanılarak her bir grafik eğrisinin geçici karakteristik değerleri bulunmuş olup ZLG amaç fonksiyonu değerleri hesaplatılmıştır. Bu işlem BRO algoritması maksimum iterasyon sayısına ulaşana kadar tekrarlanmıştır. İterasyon sonunda en düşük ZLG amaç fonksiyonuna karşılık gelen askerin konumu PID-F denetleyicisinin en uygun kazançları olarak belirlenmiştir.

### 3. Simülasyon sonuçları ve tartışmalar

#### 3. Simulation results and discussions

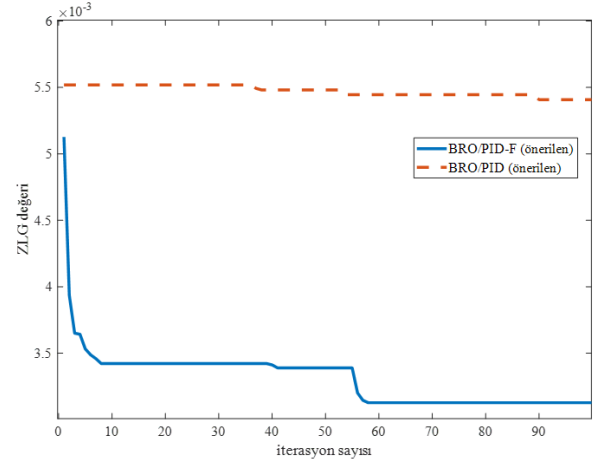
Bu çalışmada BRO/PID-F, BRO/PID, HHO/PID (Izci vd., 2020) ve ASO/PID (Izci vd., 2020) denetleyicilerine sahip UEK sisteminin simülasyonları Matlab/Simulink ortamında yapılmış olup tüm simülasyonlar için simülasyon süresi ( $t_{sim}$ ) 0.2 saniye olarak alınmıştır.

#### 3.1. Yakınsama profili analizi

##### 3.1. Convergence profile analysis

İlk olarak BRO algoritmasının PID ve PID-F için ZLG amaç fonksiyonuna en iyi yakınsayan grafik çizdirilmiş ve bu değerlere ait denetleyici parametreleri sunulmuştur. Bu çalışmada önerilen PID-F ve PID denetleyicilerin en uygun değerlerini bulmak için BRO algoritması 20'şer kez rastgele olarak çalıştırılmıştır. Her iki denetleyici içinde 20 denemenin içinden elde edilen en düşük amaç fonksiyonlarının yakınsama eğrileri Şekil 5'te verilmiştir. BRO/PID-F denetleyicisinin BRO/PID

denetleyicisine göre daha düşük ZLG amaç fonksiyonu değerine sahip olduğu Şekil 5'te açıkça görülmektedir.



Şekil 5. BRO/PID-F ve BRO/PID denetleyicilerin en iyi ZLG yakınsama eğrileri

Figure 5. Best ZLG convergence curves of BRO/PID-F and BRO/PID controllers

Tablo 2. Önerilen denetleyicilerin parametre değerleri

Table 2. Parameter values of proposed controllers

Denetleyici	Denetleyici parametreleri			
	$k_p$	$k_i$	$k_d$	$k_f$
BRO/PID-F (önerilen)	7.0355	59.0294	99.9552	345.8215
BRO/PID (önerilen)	63.6688	11.5507	99.9028	-
HHO/PID (Izci vd., 2020)	55.2698	51.4031	90.9434	-
ASO/PID (Izci vd., 2020)	17.3672	24.2791	84.5323	-

Tablo 2'deki BRO/PID-F ve BRO tabanlı PID denetleyicilerin parametre değerleri kullanılarak elde edilen UEK sistemin kapalı çevrim transfer fonksiyonları (24) ve (25)'te verilmiştir.

$$T_{\text{önerilen BRO/PID}} = \frac{115s^3 + 91.01s^2 + 24.59s + 2.049}{s^4 + 115.7s^3 + 91.93s^2 + 24.59s + 2.049} \quad (24)$$

$$T_{\text{önerilen BRO/PID-F}} = \frac{39790s^3 + 9002s^2 + 23940s + 3621}{s^5 + 346.6s^4 + 40050s^3 + 9320s^2 + 23940s + 3621} \quad (25)$$

#### 3.2. Geçici tepki analizi

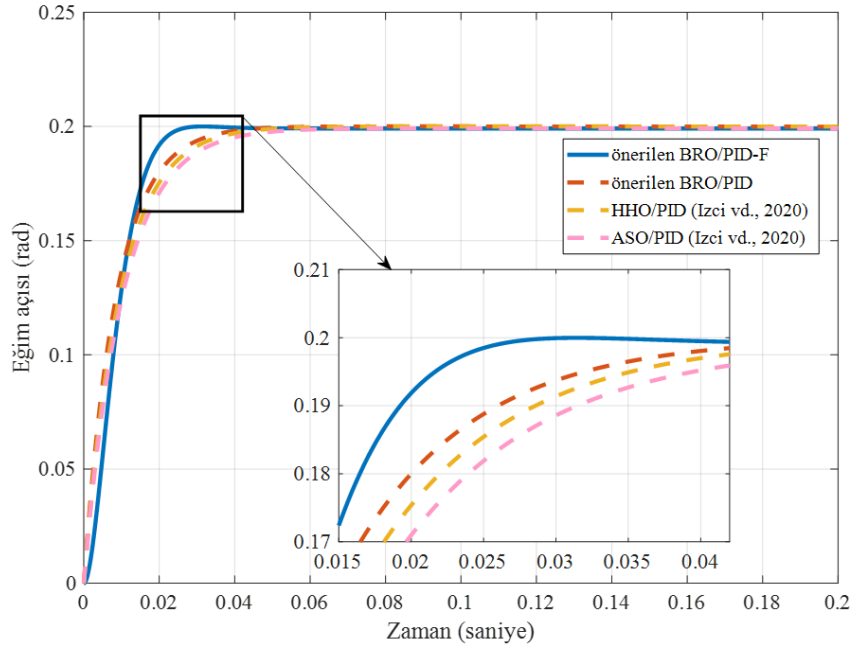
##### 3.2. Transient response analysis

Tablo 2'de BRO/PID-F ve farklı yaklaşımlı PID denetleyicilerin parametre değerleri verilmiştir. Sırasıyla her bir denetleyiciye ait UEK sistemi Tablo 2'de verilen parametre değerleri alınarak Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Elde

edilen BRO/PID-F denetleyicisi ve farklı yaklaşım tabanlı PID denetleyicilerine sahip UEK sisteminin birim basamak tepkileri Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu eğim açısı grafiklerinden geçici karakteristik değerleri bulabilmek için 'stepinfo' komutundan yararlanılmıştır. Her bir denetleyiciye ait olan maksimum aşım ( $M_p$ ), yerleşme zamanı ( $t_s$ ) ve yükselme zamanı ( $t_r$ ) değerleri Tablo 3'te

verilmiştir. Ayrıca Tablo 3'te hesaplanan ZLG değerlerine bakıldığında BRO/PID-F denetleyicisinin, BRO/PID ve literatürdeki önerilmiş olan farklı yaklaşım tabanlı PID denetleyicilerine göre en düşük ZLG değerine

sahip olduğu görülmektedir. Bu da BRO/PID-F denetleyicisine sahip UEK sisteminin en iyi maksimum aşımı ( $M_p$ ), yerleşme zamanı ( $t_s$ ), yükselme zamanı ( $t_r$ ) ve kalıcı-durum hal hatasına ( $E_{ss}$ ) sahip olduğunu açıkça göstermektedir.



**Şekil 6.** Farklı denetleyicilere sahip UEK sisteminin birim basamak tepkisi karşılaştırılması  
**Figure 6.** Comparison of step response of APC system with different controllers

**Tablo 3.** UEK sisteminin karşılaştırmalı geçici tepki analizi sonuçları

**Table 3.** Comparative transient response analysis results of the APC system

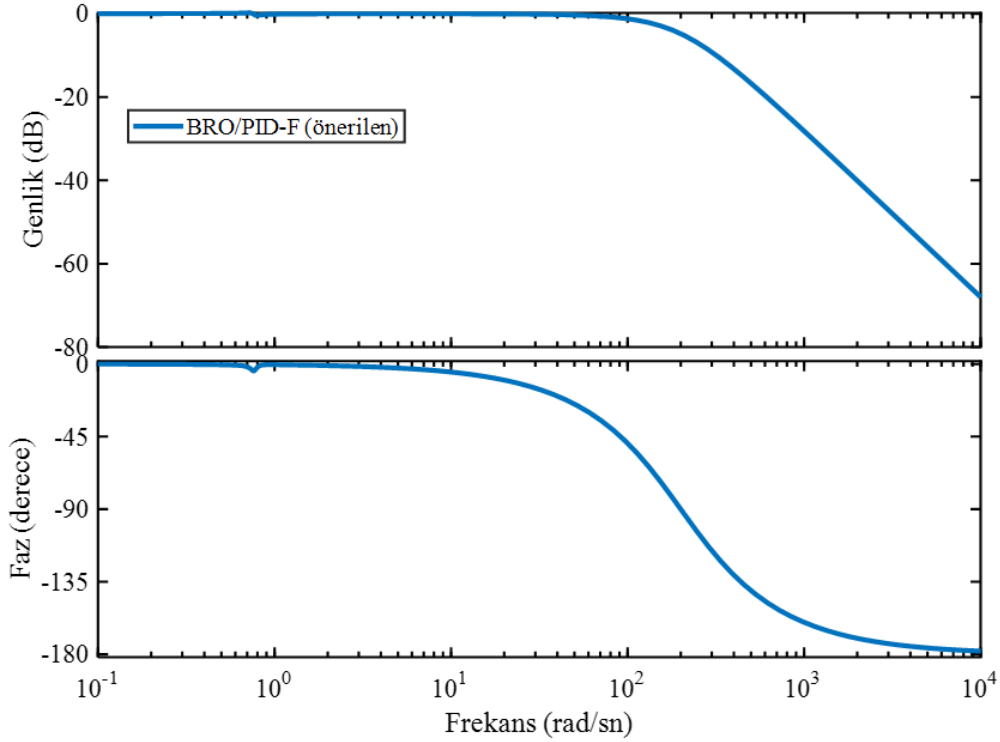
Denetleyici	$M_p$ (%)	$t_s$ (sn) %2	$t_r$ (sn) 0.1→0.9	$t_p$ (sn)	$E_{ss}$	ZLG değeri
BRO/PID-F (önerilen)	0	0.0223	0.0138	0.0314	0	0.0031
BRO/PID (önerilen)	0	0.0338	0.0191	0.0855	0	0.0054
HHO/PID (Izci vd., 2020)	0	0.0373	0.0210	0.1020	0	0.0060
ASO/PID (Izci vd., 2020)	0	0.0423	0.0229	0.1022	0	0.0071

### 3.3. Frekans tepkisi analizi

#### 3.3. Frequency response analysis

Önerilen BRO/PID-F denetleyicisinin frekans çözüm kümesinde kararlılığını gösterebilmek için Bode analizi kullanılmıştır. BRO/PID-F denetleyicisine sahip UEK sisteminin Bode çizimi Şekil 7'de gösterilmiştir. Matlab ortamında 'margin', 'bandwidth' komutları kullanılarak hesaplanmış olup BRO/PID-F, BRO/PID, HHO/PID (Izci vd., 2020) ve ASO/PID (Izci vd., 2020) denetleyicilerin frekans çözüm kümesine ait kazanç payı, faz payı ve bant genişliği değerleri

Tablo 4'te sunulmuştur. Kazanç payının sonsuz olması, faz payının 180 dereceye yakın olması ve bant genişliğinin maksimum değerde olması Bode analizinde istenilen en iyi durumdur. Tablo 4'te görüleceği üzere BRO/PID-F denetleyicisinin kazanç payı ve bant genişliği değerleri sırasıyla  $\infty$  dB ve 155.8625 Hz olarak bulunmuştur. Bu da BRO/PID-F kazanç payı ve bant genişliği değerleri bakımından diğer denetleyicilere göre daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Faz payı değerlerine bakıldığında ise  $179.6000^\circ$  değeriyle en iyi sonucun BRO/PID denetleyicisine ait olduğu görülmektedir.



**Şekil 7.** BRO/PID-F denetleyiciye sahip UEK sisteminin Bode diyagramı

**Figure 7.** Bode diagram of APC system with BRO/PID-F controller

**Tablo 4.** UEK sisteminin karşılaştırmalı frekans tepkisi performans analizi sonuçları  
**Table 4.** Comparative frequency response performance analysis results of the APC system

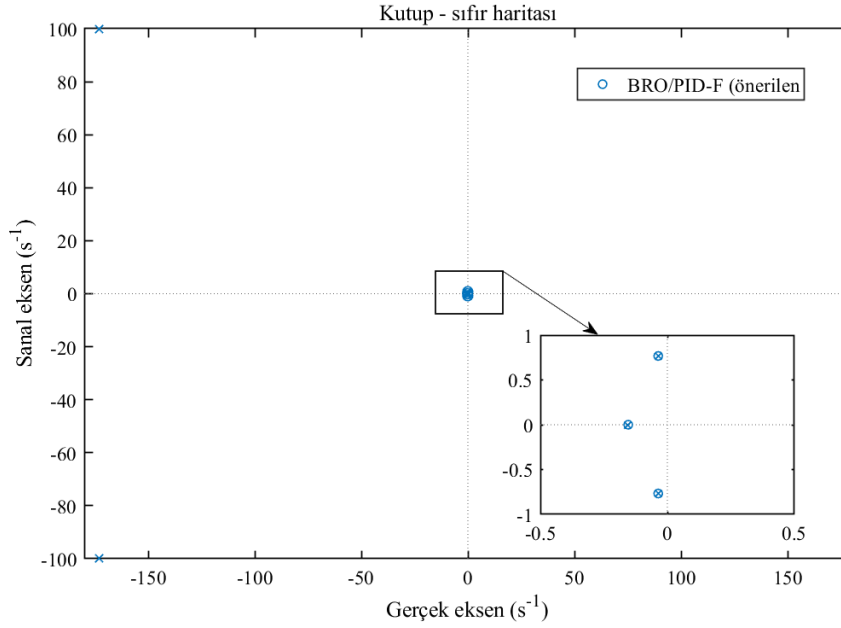
Denetleyici	Kazanç payı	Faz payı	Bant genişliği
BRO/PID-F (önerilen)	$\infty$ dB	175.8837°	155.8625 Hz
BRO/PID (önerilen)	$\infty$ dB	179.6000°	114.7877 Hz
HHO/PID (Izci vd., 2020)	$\infty$ dB	179.5243°	104.4541 Hz
ASO/PID (Izci vd., 2020)	$\infty$ dB	178.5423°	96.6898 Hz

### 3.4. Kutup-sıfır haritası analizi

#### 3.4. Pole-zero map analysis

Önerilen denetleyicilerin ve diğer farklı yaklaşımla tasarlanan PID denetleyicilerin UEK sistemi üzerinde kararlılığını gösterebilmek için son olarak kutup-sıfır haritasından yararlanılmıştır. Matlab/Simulink yardımıyla şekil 8'de önerilen BRO/PID-F denetleyicisinin kutup-sıfır haritası

çizimi elde edilmiştir. Tablo 5'te ise BRO/PID-F, BRO/PID, HHO/PID (Izci vd., 2020) ve ASO/PID (Izci vd., 2020) denetleyicilerine ait kutuplar, sıfırlar ve sönüm oranları verilmiştir. Tablo 5'e bakıldığında tüm denetleyicilerin kutupları koordinat düzleminin sol tarafında yer almaktadır. Yani tasarlanan ve literatürde var olan denetleyicilere sahip UEK sisteminin kararlı bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.



**Şekil 8.** BRO/PID-F denetleyicisi tarafından kontrol edilen UEK sisteminin kutup-sıfır haritası  
**Figure 8.** Pole-zero map of APC system controlled by BRO/PID-F controller

**Tablo 5.** UEK sisteminin kutup, sıfır ve sönüm oranı değerleri  
**Table 5.** Pole, zero and damping ratio values of the APC system

Denetleyici	Kutup	Sıfır	Sönüm Oranı
BRO/PID-F (önerilen)	-0.154	-0.0360 + 0.7676i	1
	-0.0368 + 0.765i	-0.0360 - 0.7676i	0.0480
	-0.0368 - 0.765i		0.0480
	-173 + 99.9i		0.866
	-173 - 99.9i		0.866
BRO/PID (önerilen)	-0.159	0.1541	1
	-0.320 + 0.101i	-0.3187 - 0.1187i	0.954
	-0.320 - 0.101i	-0.3187 + 0.1187i	0.954
	-115		1
HHO/PID (Izci vd., 2020)	-0.155	-0.3039 - 0.6877i	1
	-0.305 + 0.686i	-0.3039 + 0.6877i	0.4062
	-0.305 - 0.686i	-0.1541	0.4062
	-104.65		1
ASO/PID (Izci vd., 2020)	-0.1549	-0.1027 - 0.5260i	1
	-0.1048 + 0.5232i	-0.1541	0.1963
	-0.1048 - 0.5232i	-0.1027 + 0.5260i	0.1963
	-97.6713		1

#### 4. Sonuçlar ve öneriler

##### 4. Conclusions and recommendations

Bu çalışmada uçağın havada güvenli gidebilmesinde önemli bir rol oynayan eğim açısının performansını iyileştirebilmek adına PID-F denetleyicisi önerilmiştir. Denetleyicinin en uygun parametrelerini belirleme sürecinde BRO algoritması kullanılmıştır. Ayrıca literatürdeki çalışmalara bakıldığında ölüm oyunu optimizasyonu algoritması UEK sistemi için

önerilen PID-F denetleyicisinin tasarımında ilk kez kullanılmıştır. Karşılaştırmalı analiz sonuçlarına göre BRO/PID-F denetleyicisi eklenmiş UEK sistemi en iyi geçici tepki profiline ve iyi bir frekans tepkisine sahip olduğu görülmektedir. Yani diğer denetleyicilere göre en iyi maksimum aşım, yerleşme zamanına, yükselme zamanına ve ZLG değerine sahiptir. Aynı zamanda, önerilen algoritma tabanlı denetleyiciler için kararlılık analizi de dikkate alınarak yorumlanmıştır. Bant genişliği en yüksek çıkan BRO/PID-F denetleyici



sistemi, geçici durum yanıtında en hızlı aşırımsız yanıtı sağlamıştır. Gelecekte UEK sistemi ile ilgili yapılacak çalışmalarda önerilen PID-F denetleyicisine yeni meta-sezgisel algoritmalar uygulanarak sistemin dinamik tepkisi iyileştirilebilir. Ayrıca, kesir dereceli türev filtresinin sistem dinamiği üzerindeki etkileri incelenebilir.

#### **Yazar katkısı**

*Author contribution*

Yazarların bu çalışmadaki katkı oranları eşittir.

#### **Etik beyanı**

*Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

#### **Çıkar çatışması beyanı**

*Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

#### **Kaynaklar**

*References*

- Aditya, Chowdhury., & Vishnu, G. N. (2017). Optimization of PID controller gains of an aircraft pitch control system using particle swarm optimization algorithm. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 7(6), 223-230. <https://doi.org/10.24247/ijmperddc201724>
- Altıntaş, G., & Aydin, Y. (2016). Comparison of fractional and integer order PID controllers on aircraft model using genetic algorithm. *2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO)* (pp.242-246), Bursa.
- Ayas, M. S., & Sahin, E. (2021). FOPID controller with fractional filter for an automatic voltage regulator. *Computers & Electrical Engineering*, 90, 106895. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106895>
- Control tutorials for MATLAB and Simulink-(n.d.). <https://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=AircraftPitch>
- Du, H., Hu, X., Ma, C., & Zhang, G. (2017). Numerical PI tuning method and its application in aircraft pitch control. *2017 12th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*

(pp. 1270-1274), Siem Reap, Cambodia. <https://doi.org/10.1109/iciea.2017.8283034>

- Gaing, Z. (2004). A particle swarm optimization approach for optimum design of PID controller in AVR system. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 19(2), 384-391. <https://doi.org/10.1109/tec.2003.821821>
- Izci, D., Ekinci, S., Demiroren, A., & Hedley, J. (2020). HHO algorithm based PID controller design for aircraft pitch angle control system. *2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)* (pp. 1-6). Ankara. <https://doi.org/10.1109/hora49412.2020.9152897>
- Izci, D., Ekinci, S., Zeynelgil, H. L., & Hedley, J. (2021). Performance evaluation of a novel improved slime mould algorithm for direct current motor and automatic voltage regulator systems. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 44(2), 435-456. <https://doi.org/10.1177/01423312211037967>
- Kaçtı, V., Ekinci, S., & Izci, D. (2020). Henry gaz çözünürlük optimizasyonu ile uçak eğim kontrol sistemi için etkin kontrolör tasarımı. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 11(3), 953-964. <https://doi.org/10.24012/dumf.709449>
- Khalid, A., Zeb, K., & Haider, A. (2019). Conventional PID, adaptive PID, and sliding mode controllers design for aircraft pitch control. *2019 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET)* (pp. 1-6), Lahore, Pakistan. <https://doi.org/10.1109/ceet1.2019.8711871>
- Radhakrishnan, C., & Swarup, A. (2020). Performance comparison for fuzzy based aircraft pitch using various control methods. *2020 Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)* (pp. 428-433), Coimbatore, India. <https://doi.org/10.1109/icirca48905.2020.9183199>
- Rahkar Farshi, T. (2020). Battle Royale optimization algorithm. *Neural Computing and Applications*, 33(4), 1139-1157. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05004-4>
- Sayar, E., & Ertunç, H. M. (2018). Fuzzy logic controller and PID controller design for aircraft pitch control. *EuCoMeS 2018*, 53-60. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-98020-1\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-98020-1_7)
- Şahin, A. K., Akgül, T., & Çakır, O. (2021). Battle royale optimization based PID controller design for vehicle cruise control system. *5th International Conference on Advances in*

*Natural and Applied Science* (pp 181-191), Ağrı, Türkiye.

- Şahin, A. K., Tas, T., Bertug, E., & Ayas, M. S. (2021). Metaheuristic algorithm based PI controller design for Linearized quadruple-tank process. *2021 3rd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)* (pp 1-6), Ankara, Türkiye. <https://doi.org/10.1109/hora52670.2021.9461399>
- Şahin, E. (2019). Design of a PID controller with fractional order derivative filter for automatic voltage regulation in power systems. *4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences Proceedings* (pp. 23-27), Samsun, Türkiye. <https://doi.org/10.36287/setsci.4.6.013>
- Vishal, & Ohri, J. (2014). Ga tuned LQR and PID controller for Aircraft Pitch Control. *2014 IEEE 6th India International Conference on Power Electronics (IICPE)* (pp. 1-6), Kurukshetra, India. <https://doi.org/10.1109/iicpe.2014.7115839>
- Wahid, N., & Rahmat, M. F. (2010). Pitch control system using LQR and fuzzy logic controller. *2010 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA)* (pp. 389-394), Penang, Malaysia. <https://doi.org/10.1109/isiea.2010.5679436>
- Yıldırım, Ş., & Savaş, S. (2009). PID denetim organı kullanarak uçaklarda kalkış ve iniş halinde yunuslama (Pitch) açısı kontrolü. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(1), 287-301.
- Zaeri, R., Ghanbarzadeh, A., Attaran, B., & Zaeri, Z. (2011). Fuzzy logic controller based pitch control of aircraft tuned with bees algorithm. *The 2nd International Conference on Control, Instrumentation and Automation* (pp. 705-710), Shiraz, Iran. <https://doi.org/10.1109/icciautom.2011.6356745>

# Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden daha hızlı bölge tabanlı derin öğrenme modeli ile bina tespiti

*Building detection from high-resolution satellite images with faster regional based deep learning model*

**Ekrem SARALIOĞLU\*<sup>1,a</sup>, Oğuz GÜNGÖR<sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup> Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08000, Artvin

<sup>2</sup> Ankara Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Bölümü, 6000, Ankara

• Geliş tarihi / Received: 20.10.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 11.02.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 19.02.2022

## Öz

İnsan beynindeki öğrenme ve analiz mekanizmasını taklit ederek geniş bir veri kümesinden özellikleri otomatik olarak öğrenmeye çalışan derin öğrenme algoritmaları, yüksek hesaplama gerektiren problemleri çözmeye bazen insanlardan daha başarılı olabilmektedir. Derin öğrenme tabanlı yöntemlerin çeşitli alanlarda başarı ile kullanımı bu yöntemlerin uzaktan algılama alanında da kullanımını arttırmaktadır. Bu çalışmada, yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip uydu görüntülerinden derin öğrenme ile otomatik bina tespiti yapılması amaçlanmıştır. Bina tespiti için, ilk olarak yüksek mekânsal çözünürlüklü Worldview-2 uydu görüntüsüne görüntü kaynaştırma işlemi yapılarak mekânsal olarak detayların daha belirgin olduğu kaynaştırılmış bir görüntü elde edilmiştir. Daha sonra çalışma bölgesine ait kaynaştırılmış görüntü bina detaylarının yoğun olduğu bölgeleri içerecek şekilde parçalara ayrılmıştır. Bu görüntü parçalarındaki bina nesnelere etiketlenerek test ve eğitim veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan veri seti ile Faster R-CNN modeli üzerinde ince ayar yapılarak model eğitimi %94 F1 skor ve %88 doğruluk değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak Faster R-CNN modeli ile (genel kullanımının dışında) küçük nesne boyutlu uzaktan algılanmış görüntülerden bina tespiti ortalama %88.6 doğrulukta gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bina tespiti, Derin öğrenme, Faster R-CNN, Yapay zeka

## Abstract

Deep learning algorithms, which try to automatically learn features from a large data set to mimic the learning and analysis mechanism in the human brain, have sometimes started to be more successful than humans in solving problems that require high computation. The successful use of deep learning-based methods in various fields also increases its use in remote sensing. This study, it is aimed to make automatic building detection by deep learning from satellite images with high spatial resolution. First, a fused image with more spatial details was obtained by fusing the image to the high spatial resolution Worldview-2 satellite image. Then, the fused image of the study area was divided into parts, including the areas where building details are concentrated. The test and training data set was created by labeling the building objects in these image fragments. Finally, the Faster R-CNN model was trained with the prepared data set, enabling building detection from high spatial resolution satellite images. Building detection was performed with an average accuracy of 88.6% from high-resolution satellite image fragments containing fragments from different regions.

**Keywords:** Building detection, Deep learning, Faster R-CNN, Artificial intelligence

\*a Ekrem SARALIOĞLU; ekremsaralioglu@artvin.edu.tr, Tel: (0539)521 27 94, orcid.org/0000-0002-0609-3338

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-3280-5466

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Uydu görüntülerinden nesne tespiti; savunma, askeri uygulamalar, coğrafi verilerin oluşturulması, güncellenmesi, şehir çalışmaları, planlama ve izleme gibi çok çeşitli alanlarda büyük önem taşımaktadır (Stankov vd., 2014; Zhang vd., 2015; Cheng & Hang, 2016). Nesne tespiti, belirli bir hava veya uydu görüntüsünde ilgilenilen nesnelerin sınırlayıcı bir şekil kullanılarak (poligon, dikdörtgen, çember vb.) her bir nesnenin konumunun tespiti ve etiketlenmesi ile sağlanmaktadır. Uzaktan algılama alanında uydu görüntülerinden nesne tespiti 1980'li yıllardaki orta mekânsal çözünürlüklü Landsat görüntülerinden günümüze kadar çok yoğun bir uğraş alanı olmuştur (Zhu vd., 2012). Bununla birlikte daha önceki uydu görüntülerinin düşük uzamsal çözünürlüğü bina, araba, ağaç gibi nesnelerin tespitine izin vermemektedir. Bu nedenle araştırmacılar daha çok bu görüntülerden bölge özelliklerini çıkarmaya odaklanmışlardır (Chen & Hang, 2016). Gelişen sensor ve platform teknolojileri sayesinde metre ve metre altı mekânsal çözünürlüğe sahip IKONOS, WorldView-2 (WV-2), QuickBird gibi uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları üzerinden daha detaylı doku ve mekânsal detayların elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bu görüntülerinin yaygınlaşması ile çok daha fazla yöntem ve algoritma nesne tespiti için geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Guo et al., 2018; Stuparu vd., 2020; Arévalo vd., 2006; Han vd., 2014; Barsi ve Heipke, 2003; Senaras vd., 2013; Shufelt, 1996; Kembhavi vd., 2010; Cao vd., 2017; Yu vd., 2016; Cheng vd., 2013).

Nesnelerin tespitinde renk, şekil, doku gibi sadece düşük ve orta seviye özellikleri kullanan Viola-Jones Detektörü (Viola vd., 2001), Deforme Edilebilir Parça Tabanlı Model (Felzenszwalb vd., 2009), Yönlendirilmiş Gradyanların Histogramı (Dalal vd., 2005) gibi geleneksel yöntemlerin genelleştirme yetenekleri sınırlı olmaktadır (Wu vd., 2020; Xiao vd., 2020). Ayrıca bu yöntemlerin farklı uydu görüntülerine uygulanması aşamasında her görüntü için baştan eğitim ve parametre ayarlamaları gerekmektedir. Geleneksel yöntemler göreceli homojen nesnelere içeren küçük görüntülerde umut verici performans sunmalarına

rağmen, gerçek dünya veri kümelerinde daha az başarılı olmaktadır (Fischer vd., 2014). Derin öğrenme tabanlı yöntemlerde ise oluşturulan model doğrudan görüntülerden, metinden veya sestan öğrenme işlemini gerçekleştirmektedir (Arel vd., 2010; Li vd., 2018). Bu sayede insan müdahalelerine aşırı bağımlılık azalmakta ve daha genelleştirilebilir modeller oluşturulmaktadır. Literatürde Tekrarlayan Sinir Ağları (Recurrent Neural Networks), Derin İnanç Ağları (Deep Belief Networks), Çekişmeli Üretici Ağlar (Generative Adversarial Networks), Yığın Otokodlayıcılar (Stack Autoencoders), Kapsül Ağları (Capsule Networks) ve Evrimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks (CNN)) tabanlı pek çok derin öğrenme yapısı mevcuttur. Görüntüler üzerinden bilgi çıkarma işlemleri için en çok tercih edilen derin öğrenme yöntemlerini CNN tabanlı yöntemler oluşturmaktadır. CNN ile çok sayıda filtre kullanılarak eğitim veri kümesinden oldukça spesifik özellikler otomatik olarak öğrenilmektedir. Öğrenme gerçekleştiğinde filtrelerde bulunan ağırlıklarda sürekli olarak değişmektedir. Temel bir CNN yapısı içerisinde genellikle evrişim katmanları, havuzlama katmanları ve tamamen bağlı katmanlar bulunmaktadır. CNN tabanlı yöntemlerden bölge tabanlı (R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN gibi) ve tespit bölge önerisi gerektirmeyen yöntemler (Sadece Bir Kere Bak (You Look Only Once (YOLO)), Tek Atış Çoklu Kutu Dedektörü (Single Shot Multi-Box Detector (SSD)) nesne tespiti aşamasında görüntüler üzerinde çok başarılı bir şekilde kullanılabilir (Guo vd., 2018). Bu yöntemlerin en önemli avantajlarından birisi gerçek zamanlı nesne tespitini mümkün kılmalarıdır. Bu hızlı ve bölgeye dayalı evrimsel sinir ağları PASCAL VOC, Microsoft COCO gibi veri setlerinde büyük boyutlu nesnelerin tespiti alanında önemli bir ilerleme sağlamıştır. PASCAL VOC-2007 (The PASCAL Visual, 2007) veri seti 20 sınıftan oluşmaktadır ve Şekil 1(a) da görüldüğü gibi sınıflar büyük boyutludur. PASCAL VOC veri setindeki sınıfları da içeren Microsoft COCO (Common Objects, 2021) veri seti ise 80 sınıftan oluşmaktadır. Bu veri setlerinden farklı olarak uzaktan algılanmış veriler Şekil 1.(b) de görüldüğü gibi küçük nesne boyutuna sahip, spektral anlamda daha fazla bant içerebilen ve dik iz düşümlü görüntülerdir.



**Şekil 1.** (a) PASCAL VOC-2007 veri seti, (b) yüksek uzamsal çözünürlüklü uydu görüntüsü  
**Figure 1.** (a) PASCAL VOC-2007 dataset, (b) high spatial resolution satellite imagery

Uzaktan algılama alanında da [Cao vd. \(2016\)](#) uçak tespiti için R-CNN yapısını kullanmıştır. [Ammour vd. \(2017\)](#) R-CNN yaklaşımına benzer olarak CNN'leri ve destek vektör makinelerini (DVM) birleştirerek araç tespitini gerçekleştirmiştir. [Zhang, vd. \(2019\)](#) tarafından ise R-CNN tabanlı gemi tespiti yapılmıştır. R-CNN, Fast R-CNN ve Faster R-CNN şekilde ilerleyen gelişim süreci sonrası Faster R-CNN birçok alanda nesne tespiti için kullanılmıştır ([Ren vd., 2016](#); [Zhang vd., 2018](#)). [Yang vd., \(2017\)](#) tarafından yapılan çalışmada Faster R-CNN modeli kullanılarak %86 F1 skorunda mikroskop ile görüntülenen hücrelerin tespiti yapılmıştır. [Sardoğan vd., \(2020\)](#) tarafından yapılan çalışmada Faster R-CNN modeli hastalıklı elma yapraklarının tespitinde kullanılmış ve %86 F1 skoru ile bu işlem gerçekleştirilmiştir. [Wan & Goudos \(2020\)](#) tarafından yapılan çalışmada robotik görme sistemleri kullanılarak Faster R-CNN ile çok sınıflı meyvelerin tespiti yapılmıştır. Faster R-CNN modeli uzaktan algılanmış görüntüler üzerinde de kullanılmaya başlamıştır. Uzaktan algılanmış görüntülerindeki nesnelere tespitini klasik bilgisayarla görme (computer vision) alanında kullanılan kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) bantlardan oluşan renkli görüntülere oranla çok daha fazla zorluk ortaya çıkarmaktadır ([Zhu vd., 2017](#)). Uzaktan algılanmış görüntüler yüksek irtifalardan elde edildiği için atmosferde bulunan

küçük parçacıkların etkisi, bakış açısı farklılığı, arka plan dağınıklığı, aydınlatma farklılıkları ve küçük nesne boyutu gibi ek zorluklara sahiptir. Bunların dışında uydu görüntüleri klasik RGB görüntülerden daha fazla bant sayısına sahiptir. Genelleştirme yeteneğine sahip yüksek boyutlu derin öğrenme modelleri yüksek doğruluk için oldukça fazla etiketli veriye ihtiyaç duymaktadır. Fakat bilgisayarla görme alanında kullanılan klasik RGB görüntüler ile karşılaştırıldığında uzaktan algılanmış verilerde etiketli veri miktarı oldukça azdır ([Saralioglu & Gungor, 2020](#)). Yeni veri kümesi derin bir ağından eğitilebilmesi için yeterli olmadığı durumda büyük veri setleri ile eğitilmiş ve başarı kazanmış derin öğrenme yapılarında transfer öğrenme ile başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

Bu çalışmada yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden Faster R-CNN modeli ile binaların otomatik tespiti amaçlanmıştır. İnsan faaliyetlerinin çoğunun gerçekleştiği binalar, uzaktan algılanmış görüntüler üzerinde tespit edilebilen en önemli nesnelere biridir. Binalar, bir şehrin oluşumunda temel bir unsur olmaktadır. ([Lafarge vd., 2008](#)) Sürdürülebilir kalkınma ile ilgili araştırmaların yürütülmesi için bina bilgilerinin çıkarılması büyük önem taşımaktadır. Çıkarılan bina bilgileri, insanların yaşam koşullarının değerlendirilmesi, bina koşullarının

izlenmesi, afet risklerinin tahmin edilmesi, 3 boyutlu şehir modelleri, kaçak yapıların tespiti gibi pek çok araştırma için temel bir veri kaynağı olmaktadır (Nahhas vd., 2018). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile yapılan pek çok analizde de bina bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin iletişim şirketlerinin, daha geniş bir kapsama alanı elde etmek için verici istasyonlarını konumlandırma konusunda uygun yer seçimi yapmaları gerekmektedir. En uygun konumun bulunması için sayısal arazi modeli gibi katmanların yanında bina katmanı da gerekli olmaktadır.

Araştırmacılar tarafından pek çok bina tespiti ve çıkarımı yöntemi önerilmiştir. Bunlardan bazılarını eşik değer kullanımı, morfolojik görüntü işleme, bağlantılı bileşen etiketleme (Maas & Vosselman 1999; Vu vd. 2009; Yu vd. 2010) geometrik kriterlerin kullanımı (Gamba & Houshmand 2000) oluşturmaktadır. Bunların dışında Liow ve Pavlidis (1990) ve Nevatia vd. (1999) tarafından yapılan çalışmalarda gölge analizi tabanlı algoritmalar önerilmiştir. Normal Vektörler, Graf Tabanlı algoritmalar ve Çoklu Çözünürlüklü (Multi-Resolution) analizler (Satari vd., 2012) bina tespiti ve çıkarımında kullanılmıştır. Benzer şekilde ISODATA (Haala & Brenner 1999), Dempster Shafer (Rottensteiner vd., 2007), Rastgele Orman (Guo et al. 2011) ve diğer sınıflandırma tabanlı algoritmalarda bina tespiti ve çıkarımı uygulamalarında kullanılmıştır. Çoğu bina tespit ve çıkarma yöntemleri belirli veri kümeleriyle (Wang & Tenhunen, 2004) iyi performans gösterse de genelleştirilebilme yetenekleri zayıf olmaktadır. Bu yöntemler tipik olarak binaların dokusunu, şeklini ve diğer özelliklerini tam olarak kullanamadığından binalar ile arka planları arasındaki mekânsal ilişkiyi modelleme yetenekleri yetersiz olmaktadır. Aynı zamanda, bina kategorisi altındaki farklı binaların farklı özellikleri ve hatta bölgeler arasındaki belirgin farklılıklar göz önüne alındığında bu yöntemlerin kararlılığı ve genelleştirilebilmeleri zayıf kalmaktadır (Han vd., 2021).

Son zamanlarda derin öğrenme tabanlı yöntemler ile nesne tespiti alanında önemli ilerleme kaydedilmiştir. Derin ağlar ön veri işleme ve özelliklerin tek tek çıkarımına yönelik ek süreçleri içermemektedir. Derin öğrenme ile yüksek seviye özellikler veriler üzerinden otomatik olarak öğrenilmektedir. Bu sayede daha iyi doğruluk ve genelleştirilebilme yeteneklerine sahip olmaktadır. CNN tabanlı yaklaşıma odaklanan bina tespit görevlerinde etkileyici başarı gösteren araştırmalar bulunmaktadır. Örneğin Chen vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada bina tespiti

CNN modeli ile yapılmıştır. Sun vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada iki seviyeli oluşturulan yeni bir CNN modeli bina tespiti için önerilmiştir. Chen vd., (2019) tarafından yapılan çalışmada bina tespiti için çoklu filtre boyutu ile çoklu görüntü ölççekleri birleşimi ile oluşturulan yeni bir CNN modeli önerilmiştir.

Son araştırmalarda obje tespitinde bölge tabanlı R-CNN (Ren vd., 2015), Fast R-CNN (Girshick 2015), Faster R-CNN ve Mask R-CNN gibi ezberleme sorununa daha dirençli olan ve hızlı tespit yöntemleri kullanılmaktadır. Buna rağmen bu yöntemler ile yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri üzerinde bina tespitinin yapıldığı çok az çalışma mevcuttur. Faster R-CNN modelinin uzaktan algılanmış veriler üzerinde kullanımının genelde hava fotoğrafları (Ammar vd., 2020; Xu vd., 2017) ve Google Earth' den indirilen görüntüler (Yin vd., 2020; Yao vd., 2017; Tao vd., 2021; Zeren vd., 2020; Peng vd., 2020; Han vd., 2020; Liu vd., 2020) üzerinde olduğu görülmektedir. Faster R-CNN modeli şimdiye kadar, çok bantlı uydu görüntüleri üzerinde bina tespiti için doğrudan kullanılmamıştır.

Bu çalışmada Faster R-CNN tabanlı derin öğrenme modelinin yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden bina tespitinde uygulanması gerçekleştirilerek literatürde önemli bir boşluk doldurulmaya çalışılmış ve uydu görüntüleri üzerinde bölgesel tabanlı hızlı derin öğrenme yöntemleri ile obje tespiti dikkat çekilerek yeni çalışmalar için bir kapı açmıştır. Faster R-CNN modelinin yaygın kullanımı büyük boyutlu objeler içeren görüntülerde obje tespitini içeren çalışmalar olmaktadır. Bu çalışmada Faster R-CNN modeli, küçük boyutlu objelerin tespit edilmesine imkan verecek şekilde düzenlenmiş ve model oluşturulan yeni bir veri seti ile eğitilerek uydu görüntülerinden bina tespiti gerçekleştirilmiştir. Faster R-CNN gibi hızlı nesne tespitine imkân sağlayan bu tarz modellerin uydu görüntüleri üzerinde kullanımı anlık nesne tespiti gibi önemli bir avantaj sağlar. Bunun için çalışma bölgesine ait WV-2 uydu görüntüsü ilk olarak siyah-beyaz (pankromatik) bandı ile kaynaştırılarak yüksek mekânsal çözünürlüklü pan keskinleştirilmiş görüntü elde edilmiştir. Daha sonra kaynaştırılmış görüntü 500x500 piksel boyutlarında parçalara bölünmüştür. Oluşturulan parçalar üzerinde binaların etiketleme işlemleri yapılmış modelin eğitiminde kullanılacak veri seti eğitim ve test olarak ayrılmıştır. Son olarak oluşturulan veri seti ile eğitilen Faster R-CNN modeli ile WV-2 görüntüleri üzerinde otomatik bina tespiti gerçekleştirilmiştir.

## 2. Yöntem

### 2. Method

#### 2.1. Çalışma alanı ve veri

##### 2.1. Study area and data

Bu çalışmada Trabzon iline bağlı bir ilçe olan (Kuzeydoğu Türkiye'de Karadeniz kıyısında yer alan) Sürmene'ye ait WV-2 görüntüsü kullanılmıştır. WV-2 uydusu, 0,46 m mekânsal çözünürlükle 450 ila 800 nm spektrumu kapsayan siyah-beyaz bir bant sağlamaktadır. Ayrıca, 1,84 m mekânsal çözünürlükte, 400 ila 1050 nm arasındaki spektral aralığı kapsayan sekiz adet MS bandı (yani kırmızı, yeşil, mavi ve yakın kızılötesi-1 olmak

üzere dört standart bant ve kıyı, sarı, kırmızı kenar ve yakın kızılötesi 2 olmak üzere dört ek bant) içermektedir (Padwick vd., 2010). Bölge çok engebeli ve dağlık bir araziye sahip olduğundan evler genellikle birbirinden uzak olarak inşa edilmiştir. Trabzon merkeze göre daha fazla yağışlı olan Sürmene'de her mevsim yağışlıdır ve yağış miktarı 1500 mm'yi bulmaktadır. Beton malzeme yıl boyunca yağışlara daha dayanıklı olduğu için yollar genellikle betondan yapılmıştır. Bu durum piksel tabanlı sınıflandırma algoritmaları kullanıldığında çatısız evlerin yol ve çıplak toprak sınıfları ile karıştırılmasına neden olmaktadır (Saralioğlu & Gungor., 2022). Şekil 2'de çalışma alanı gösterilmektedir.



Şekil 2. Çalışma alanı (WV-2 görüntüsü)

Figure 2. Study area (WV-2 image)

#### 2.2. Görüntü kaynaştırma

##### 2.2. Image fusion

Çok bantlı uydu görüntülerinin çoğu renkli bantlarından daha yüksek mekânsal çözünürlükte bir siyah-beyaz bant da sunmaktadır. Bu çalışmada siyah-beyaz bantın mekânsal çözünürlüğünde renkli görüntü elde edebilmek için Gram-Schmidt görüntü kaynaştırma yöntemi uygulanmıştır. Gram-Schmidt yöntemi etkili görüntü kaynaştırma yöntemlerinden biridir (Karathanassi vd., 2007; Klonus & Ehlers, 2009; Yuhendra & Kuze, 2011).

Bu yöntemin önemli avantajlarından biri, bu teknik kullanılarak tek seferde işlenebilecek bant sayısında bir sınırlama olmamasıdır. İkinci olarak, orijinal MS verilerinin spektral özellikleri birleştirilmiş görüntüde korunmaktadır (Liv vd., 2004). WV-2 görüntüsüne ait renkli (1.84 m) ve siyah-beyaz (0.46 m) bantlar kaynaştırılarak 0.46 m mekânsal çözünürlükte kaynaştırılmış renkli görüntü elde edilmiştir. Şekil 3'te renkli, siyah-beyaz ve kaynaştırılmış görüntü örneği gösterilmektedir.



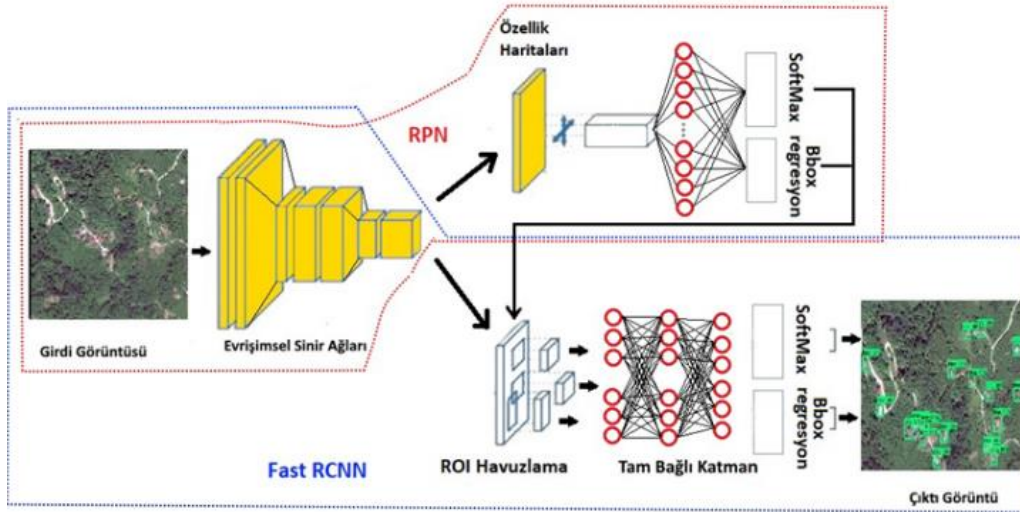
**Şekil 3.** (a) siyah-beyaz bant, (b) doğru renkli görüntü, (c) kaynaştırılmış görüntü  
**Figure 3.** (a) panchromatic band, (b) true color image, (c) pansharpened image

### 2.3. Faster R-CNN modeli

#### 2.3.1. Faster R-CNN model

Faster R-CNN, Şekil 4'te görüldüğü gibi bir bölge öneri ağı (Region Proposal Network (RPN)) (Ren vd., 2016) ve Fast R-CNN (Girshick, 2015) olmak üzere iki modülden oluşmaktadır. RPN'in getirdiği yenilik, doğrudan örnekleme katmanına bağlanılabilesidir. Böylece Faster R-CNN, güçlü yapısı ile görüntülerde uçtan uca nesne tespitini sağlayabilecek bir yapıda olmaktadır (Ren vd.,

2016). RPN bölgeleri ve hedefleri tahmin skorları ile birlikte üreten bir evrimsel sinir ağıdır. Fast R-CNN ise boyutu tanımlayan ve hedefleri sınıflandıran bir ağıdır. Önerilen bölgelerin sınıflandırma katmanı ve skor değerleri tahmin katmanı aşamasında Fast R-CNN ağına birleştirilir. Fast R-CNN ağının iki çıkış katmanı bulunmaktadır. Bunlardan ilki Softmax sınıflayıcı katmanı diğeri ise tespit edilen bölgenin tespit edilme doğruluğunu veren regresyon katmanıdır (Yang vd., 2017).



**Şekil 4.** Faster R-CNN ile bina tespit süreci, kırmızı çizgi ile çevrili bölge RPN, mavi çizgi ile çevrili bölge Fast R-CNN

**Figure 4.** Building detection process with Faster R-CNN, area surrounded by red line RPN, area surrounded by blue line Fast R-CNN

Faster R-CNN işleyişi temelde 4 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada evrimsel sinir ağları ile girdi görüntüsünden özellikler çıkartarak özellik haritaları oluşturulmaktadır. İkinci aşamada üretilen özellik haritaları RPN ile bölge önerilerine dönüştürür. Bölge önerileri, içerisinde nesne olma olasılığı yüksek olacak şekilde oluşturulan

bölgeleri içermektedir. Üçüncü aşamada bölge önerilerinin boyutlarının aynı olmasını sağlamak amacıyla ilgi bölgesi (region of interest (ROI)) havuzlama katmanı uygulanmaktadır. Son aşamada önerilen nesnelere sınıflandırmak için bir Softmax katmanı ve nesnelere sınırlarını belirlemek için bir regresyon katmanını içeren



tam bağlı ağ kullanılarak sonuç ürün elde edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan Faster R-CNN modelinin bir Inception ResNet (Szegey vd., 2016) omurgası vardır. Bu özellik çıkarımı için yaygın kullanılan CNN yapılarından bir tanesidir.

#### 2.4. Eğitim sınıflarının oluşturulması ve model ayarları

##### 2.4. Producing of training classes and model settings

Faster R-CNN modelinin yüksek mekânsal çözünürlüklü görüntülerde bina tespitinde kullanılabilmesi için WV-2 kaynaştırılmış görüntüsü eğitim için hazırlanmıştır. Kaynaştırılmış görüntünün RGB bantları modelin eğitimi için kullanılmıştır. İlk olarak binaları içeren görüntü parçaları Şekil 5'te görüldüğü gibi parçalara ayrılarak oluşturulmuştur. Görüntü boyutları tespit edilmek istenen nesnenin

boyutundan küçük olmamalıdır. Bunun dışında çok büyük görüntü parçaları üzerinde çalışmak işlem yükünü önemli derecede arttırarak uzun zaman almaktadır. Bu çalışma için birkaç tane binayı rahat bir şekilde içerisine alabilecek şekilde 500x500 piksel boyutlarında görüntü parçaları oluşturulmuştur. Görüntü parçalarında oluşan boş alanlar ve bina içermeyen parçalar silinmiştir. Bu görüntüler %80'i eğitim ve %20'si test olacak şekilde iki gruba ayrılmıştır. Eğitim verisi 2350 bina nesnesi içeren toplamda 96 görüntü parçasından oluşurken test verisi de 365 bina nesnesi içeren 24 görüntü parçasından oluşmaktadır. Ön hazırlık işlemlerinden sonra binaların etiketleme işlemleri LabelImg (Tzutalin, 2015) ile yapılmıştır. LabelImg Github'daki açık kaynaklı grafik görüntü etiketleme yazılımıdır. Görüntülerdeki nesnelere sınırlayıcı kutucuklar çizilerek açıklama eklenerek bina sınıfları oluşturulmuştur.



Şekil 5. Görüntü parçaları  
Figure 5. Image patches

Bu çalışma i7 9750h işlemci (4.50GHz), 16GB DDR4 2666MHz RAM ve NDVI Geforce 1650 ekran kartına sahip bilgisayar ile gerçekleştirilmiştir. Model eğitimi Tensorflow kütüphanesi kullanılarak Python programa dili ile gerçekleştirilmiştir. TensorFlow Nesne Algılama API'si, eğitim ve değerlendirme süreci için protobuf dosyalarını kullanır. Eğitim kümesindeki veriler ön-eğitilmiş bir ağ olan Microsoft COCO veriseti ile eğitilmiş faster\_rcnn\_inception\_v2\_coco modeli (GitHub, Tensorflow, 2019) kullanılmıştır. Microsoft COCO veri seti Pascal-VOC veri seti gibi büyük boyutlu klasik RGB görüntüleri içeren büyük kapsamlı bir veri setidir. Uzaktan algılanmış verilerle farklı yapıda olan bu veri seti ile eğitilmiş bu ağa hazırlanan WV-2 eğitim veri setini entegre etmek için aşağıdaki şekilde hiperparametreler düzenlenmiştir.

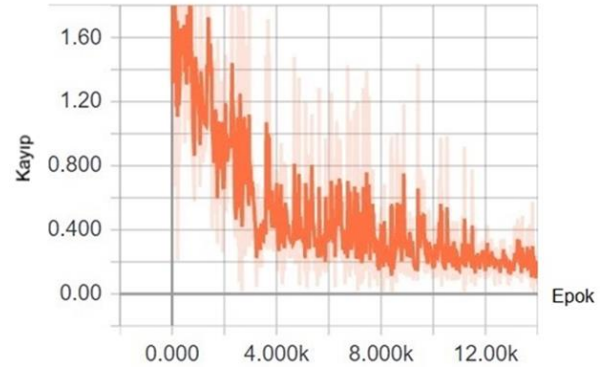
Model eğitimi için görüntü ve binalara ait koordinat bilgilerini içerecek şekilde oluşturulan csv dosyaları tfrecord dosyasına dönüştürülmüştür. Bu dosya eğitim aşamasında girdi olarak modele tanıtılmaktadır. Eğitim sırasında model ile ilgili öğrenilen detaylar "cpkt" uzantılı dosyada tutulmaktadır. Bu sayede eğitim aşamasına daha sonra kalındığı yerden devam edilebilmektedir. Labelmap dosyası modelde hangi sınıfın hangi ID bilgisine denk geldiğini tanıtmak için oluşturulmuştur. Bu çalışmada tek bir sınıf olduğu için sınıf adı: Bina ve ID:1 olacak şekilde dosya hazırlanmıştır. Model\_config dosyasında bu çalışmada sadece binalar tespit edileceği için çıkış sınıfı 1 olarak değiştirilmiştir. Sonuç ürünler için yol tanımlanarak son olarak test için kullanılacak veri sayısı girilmiştir. Öğrenme oranı için kademeli olarak azalan öğrenme modeli kullanılmıştır. Bu yöntemde, eğitimin belirli kademelerinde öğrenme hızı azaltılarak modelin başarımı artırılabilir. Bunun için ilk 90000 adım için öğrenme oranı 0.0002 ve sonra 160000'e kadar olan kısım için öğrenme oranı 0.0001 olarak belirlenmiştir. Başlangıç ağırlık değeri 0 olarak seçilmiştir. Sınıflandırma katmanı olarak başarılı sonuçlar vermesi nedeniyle softmax fonksiyonu kullanılmıştır. Kayıp değerleri incelendiğinde çok fazla model hassasiyetinde artış olmaması nedeniyle 15000 adımda eğitim yapılmıştır. Görüntülerin çoğaltılarak daha iyi öğrenme sağlanabilmesi amacıyla veri çoğaltma yöntemi olarak "random\_horizontal\_flip" kullanılmıştır. Pencere ölçüğü küçük boyutlu bina nesnelere

tespit edilebilmesi amacıyla 0.25, 0.5, 1 ve 2 olarak ayarlanmıştır. Faster R-CNN mimarisi içerisinde Resnet 50 (He vd., 2016) mimarisi kullanılmıştır. Özellik çıkarıcı olarak VGG16 (URL-5), Resnet 101 (He vd., 2016) yerine Resnet50 daha az grafik belleği istemesi ve küçük nesnelere tespitindeki başarısı nedeniyle tercih edilmiştir.

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3. Results and discussion

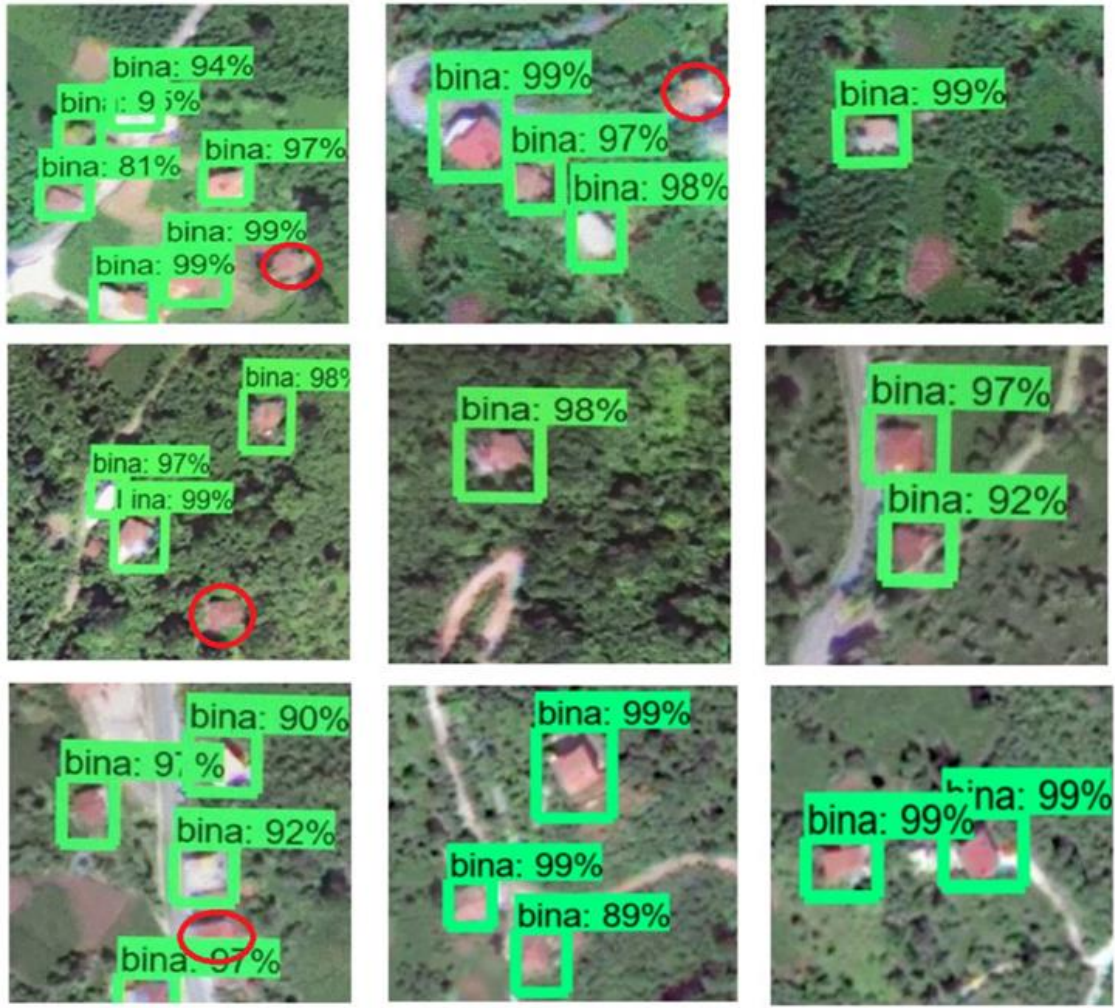
Eğitim aşamasındaki kayıp değerleri anlık olarak Tensorflow görselleştirme aracı olan TensorBoard üzerinden izlenebilmektedir. Modelin eğitimi yaklaşık 32 saat sürmüştür. Eğitim aşamasında oluşan kayıp fonksiyonu değerinin zamanla değişim grafiği Şekil 6' da görülmektedir. Yatay eksen eğitim aşamasındaki adım sayısını gösterirken dikey eksen kayıp değerlerini göstermektedir. Hata değerinin sürekli olarak düşmesi ve sifıra yaklaşması istenen durumdur. Şekil 6'da görüldüğü gibi 1.80 ile başlayan kayıp değerleri 0.1'e kadar düşmüştür. Bu modelin geliştiğini göstermektedir.



Şekil 6. Kayıp değerleri

Figure 6. Loss

Eğitilen Faster R-CNN modeli WV-2 uydu görüntüsü üzerinde Şekil 7'de görüldüğü gibi binaları otomatik olarak tespit edebilmektedir. Şekil 7'de Kırmızı ile çevrili alanlar modelin tespit edemediği binaları göstermektedir. Model tespit işlemini yaklaşık 1sn gibi kısa bir sürede gerçekleştirebilmektedir. Şekil 7'de görüldüğü gibi bina çatılarındaki farklı renk tonlarından etkilenmemekte ve yüksek doğrulukta binaları otomatik tespit edebilmektedir.



**Şekil 7.** Faster R-CNN modeli ile bina tespiti  
**Figure 7.** Building detection with Faster R-CNN model

Bu çalışmada bina tespit doğruluğunu nicel olarak değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan doğruluk ve F1 puan metrikleri kullanılmıştır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+DN+YP+YN} \quad (1)$$

$$\text{Keskinlik} = \frac{DP}{DP+YP} \quad (2)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (3)$$

$$\text{F1Puanı} = \frac{2 \times \text{Keskinlik} \times \text{Duyarlılık}}{\text{Keskinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (4)$$

Burada DP doğru pozitif, DN doğru negatif, YP yanlış pozitif ve YN yanlış negatiftir. DP ilgilenilen nesnenin görüntüde tespit edilmesi, yani sınırlayıcı kutu gösterilmesidir. YN, görüntüde istenen nesnenin olmasına rağmen modelin bunu tespit edememesidir. DN görüntüde istenen nesne olmadığında nesne tespiti yapılmayan durumu ifade etmektedir. YP, bir nesnenin istenen nesne olmamasına rağmen istenen nesne olarak tespit edilmesidir.

Doğruluk değerlendirme aşamasında tüm görüntü parçalarının %80'i eğitim ve %20'si test olacak şekilde Python programlama dili ile rastgele seçilerek iki gruba ayrılmıştır. Eğitim verisi 96 görüntü içerisinde bulunan 2350 bina içermektedir. Test verisi 24 görüntü ve 365 bina nesnesi içermektedir. Faster R-CNN ile yapılan bina tespiti sonuçları Tablo 1.'de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Modele ait doğruluk değerlendirme sonuçları

**Table 1.** Accuracy evaluation results of the model

Doğruluk değerlendirme metrikleri	Sonuçlar
F1-Skor	0.94
mAP	0.91
Doğruluk	0.88
Keskinlik	1.00
Duyarlılık	0.88

Model daha fazla veri ile eğitilmesi durumunda daha da yüksek doğrulukta bina tespiti yapılabilir. Bununla birlikte Faster R-CNN modeli uydu

görüntülerinden nesne tespiti amacıyla üretilmediğinden 3 bant için çalıştırılabilmektedir. Ayrıca model büyük boyutlu nesnelere için eğitildiğinden uzaktan algılanmış görüntülerdeki küçük boyutlu nesnelere zorluk oluşturmaktadır. Bunların yanı sıra modelin eğitim süresi uzun olmaktadır. Bu durum sınıf sayısı arttıkça çok daha uzayacaktır. Fakat tek bir eğitimden sonra saniyeler içinde yüksek doğrulukta nesne tespitine imkan sağlaması çok önemli bir avantajdır.

#### 4. Sonuçlar

##### 4. Conclusion

Bu çalışmada Faster R-CNN modeli küçük boyutlu objelerin tespit edilmesine imkan verecek şekilde düzenlenmiş ve oluşturulan yeni bir veri seti ile eğitilerek uydu görüntülerinden bina tespiti gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan veri setinde binalar etiketlenerek modelin eğitimi gerçekleştirilmiştir. Modelin en önemli avantajlardan bir tanesi yeni bir uydu görüntü parçası verildiğinde tekrardan eğitime ihtiyaç duyulmadan otomatik olarak binaları tespit edebilmesidir. Bunun yanında gerçek zamanlı nesne tespitinde klasik RGB görüntüler üzerinde kullanılan Faster R-CNN modelini uydu görüntüleri üzerinde bina tespiti amacıyla kullanıldığı durumda da yine saniyeler içerisinde bina tespiti yapılabildiği görülmüştür. Bina tespit doğruluğu %88.6 olmaktadır. Ayrıca tespit süresi yaklaşık 1sn gibi çok kısa bir sürede gerçekleştirilmektedir. Bu sonuçlar, yüksek mekânsal çözünürlüklü farklı uydu görüntüleri ile eğitilmesi durumunda Faster-RCNN modelinin bina tespitini yüksek başarı ile yapılabileceğini göstermektedir.

#### Teşekkür

##### Acknowledgement

Bu çalışmada kullanılan WorldView-2 uydu görüntüsü 111Y296 numaralı TÜBİTAK 1001 projesinden alınmıştır. Bu nedenle TÜBİTAK'a sağladığı destekten dolayı teşekkür ederiz.

#### Yazar katkısı

##### Author Contribution

Bu çalışmada Saralioğlu modelin oluşturulması, eğitim verilerinin oluşturulması, literatür taraması ve makalenin yazımı aşamalarını gerçekleştirmiştir. Güngör makalenin eleştirel incelemesi, geliştirilmesi ve editlenmesini gerçekleştirmiştir.

#### Etik beyanı

##### Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, mevcut çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

#### Çıkar çatışması beyanı

##### Conflicts of interest

Mevcut çalışma kapsamında herhangi bir çıkar çatışması olmadığı yazarlar tarafından beyan edilmektedir.

#### Kaynaklar

##### References

- Arel, I., Rose, D. C., & Karnowski, T. P. (2010). Deep machine learning-a new frontier in artificial intelligence research [research frontier]. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 5(4), 13-18. <https://doi.org/10.1109/MCI.2010.938364>
- Arévalo, V., González, J., Valdes, J., & Ambrosio, G. (2006). Detecting shadows in QuickBird satellite images. *ISPRS Commission VII Midterm Symposium Remote Sensing: From Pixels to Processes*, (pp. 8-11), Enschede, Netherlands.
- Ammar, A., Koubaa, A., Ahmed, M., & Saad, A. (2019, October 16). *Aerial images processing for car detection using convolutional neural networks: Comparison between faster r-cnn and yolov3*. <https://arxiv.org/abs/1910.07234>
- Ammour, N., Alhichri, H., Bazi, Y., Benjdira, B., Alajlan, N., & Zuair, M. (2017). Deep learning approach for car detection in UAV imagery. *Remote Sensing*, 9(4), 1-15. <https://doi.org/10.3390/rs9040312>
- Barsi, A., & Heipke, C. (2003). Artificial neural networks for the detection of road junctions in aerial images. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(3/W8), 113-118.
- Cao, Y., Niu, X., & Dou, Y. (2016). Region-based convolutional neural networks for object detection in very high resolution remote sensing images. *2016 12th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD)* (ss. 548-554). Changsha: IEEE. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2016.7603232>
- Cao, L., Luo, F., Chen, L., Sheng, Y., Wang, H., Wang, C., & Ji, R. (2017). Weakly supervised vehicle detection in satellite images via multi-instance discriminative learning. *Pattern Recognition*, 64,

- 417-424.  
<https://doi.org/10.1016/j.patcog.2016.10.033>
- Chen, C., Gong, W., Hu, Y., Chen, Y., & Ding, Y. (2017). Learning oriented region-based convolutional neural networks for building detection in satellite remote sensing images. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 461. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-1-W1-461-2017>
- Chen, C., Gong, W., Chen, Y., & Li, W. (2019). Learning a two-stage CNN model for multi-sized building detection in remote sensing images. *Remote Sensing Letters*, 10(2), 103-110. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2018.1528398>
- Cheng, G., & Han, J. (2016). A survey on object detection in optical remote sensing images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 117, 11-28. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.014>
- Cheng, G., Han, J., Guo, L., Qian, X., Zhou, P., Yao, X., & Hu, X. (2013). Object detection in remote sensing imagery using a discriminatively trained mixture model. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 85, 32-43. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.08.001>
- Common Objects in Context (COCO). (2021, April 12). <https://cocodataset.org/#home>.
- Dalal, N., & Triggs, B. (2005). Histograms of oriented gradients for human detection. *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)* (pp. 886-893). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2005.177>
- Felzenszwalb, P. F., Girshick, R. B., McAllester, D., & Ramanan, D. (2009). Object detection with discriminatively trained part-based models. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 32(9), 1627-1645. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2009.167>
- Fischer, P., Dosovitskiy, A., & Brox, T. (2014, May 22). *Descriptor matching with convolutional neural networks: a comparison to sift*. <https://arxiv.org/abs/1405.5769>
- Gamba, P., & Houshmand, B. (2000). Digital surface models and building extraction: A comparison of IFSAR and LIDAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(4), 1959-1968. <https://doi.org/10.1109/36.851777>
- GitHub. Tensorflow detection model zoo. (2019, October 10). [https://github.com/tensorflow/models/blob/master/research/object\\_detection/g3doc/tf2\\_detection\\_model\\_zoo.md](https://github.com/tensorflow/models/blob/master/research/object_detection/g3doc/tf2_detection_model_zoo.md)
- Guo, W., Yang, W., Zhang, H., & Hua, G. (2018). Geospatial object detection in high resolution satellite images based on multi-scale convolutional neural network. *Remote Sensing*, 10(1), 131. <https://doi.org/10.3390/rs10010131>
- Guo, L., Chehata, N., Mallet, C., & Boukir, S. (2011). Relevance of airborne lidar and multispectral image data for urban scene classification using Random Forests. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(1), 56-66. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.08.007>
- Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks. *Advances in Neural Information Processing Systems* (pp. 91-99), Massachusetts.
- Haala, N., & Brenner, C. (1999). Extraction of buildings and trees in urban environments. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2-3), 130-137. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00010-6](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00010-6)
- Han, Y., Ma, S., Zhang, F., & Li, C. (2020). Object detection of remote sensing airport image based on improved Faster R-CNN. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1601/3/032010>
- Han, Q., Yin, Q., Zheng, X., & Chen, Z. (2021). Remote sensing image building detection method based on Mask R-CNN. *Complex & Intelligent Systems*, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40747-021-00322-z>
- Han, J., Zhang, D., Cheng, G., Guo, L., & Ren, J. (2014). Object detection in optical remote sensing images based on weakly supervised learning and high-level feature learning. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(6), 3325-3337. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2014.2374218>
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778). [https://openaccess.thecvf.com/content\\_cvpr\\_2016/html/He\\_Deep\\_Residual\\_Learning\\_CVPR\\_2016\\_paper.html](https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2016/html/He_Deep_Residual_Learning_CVPR_2016_paper.html)
- Karathanassi, V., Kolokousis, P., & Ioannidou, S. (2007). A comparison study on fusion methods using evaluation indicators. *International*

- Journal of Remote Sensing*, 28(10), 2309–2341. <https://doi.org/10.1080/01431160600606890>
- Kembhavi, A., Harwood, D., & Davis, L. S. (2010). Vehicle detection using partial least squares. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 33(6), 1250-1265. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2010.182>
- Klonus, S., & Ehlers, M. (2009). Performance of evaluation methods in image fusion. *2009 12th International Conference on Information Fusion* (pp.1409–1416). Seattle, WA: IEEE.
- Lafarge, F., Descombes, X., Zerubia, J., & Pierrot-Deseilligny, M. (2008). Automatic building extraction from DEMs using an object approach and application to the 3D-city modeling. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 63(3), 365-381. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2007.09.003>
- Li, C., Liu, L., Wang, J., Zhao, C., & Wang, R. (2004, September). Comparison of two methods of the fusion of remote sensing images with fidelity of spectral information. *IGARSS 2004, 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Vol. 4, pp. 2561-2564). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2004.1369819>
- Li, X., Shang, M., Qin, H., & Chen, L. (2015). Fast accurate fish detection and recognition of underwater images with fast r-cnn. In *OCEANS 2015-MTS/IEEE* Washington (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.23919/OCEANS.2015.7404464>
- Li, Y., Zhang, H., Xue, X., Jiang, Y., & Shen, Q. (2018). Deep learning for remote sensing image classification: A survey. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 8(6), 1-17. <https://doi.org/10.1002/widm.1264>
- Liow, Y. T., & Pavlidis, T. (1990). Use of shadows for extracting buildings in aerial images. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 49(2), 242-277. [https://doi.org/10.1016/0734-189X\(90\)90139-M](https://doi.org/10.1016/0734-189X(90)90139-M)
- Liu, X., Ghazali, K. H., Han, F., Mohamed, I. I., Zhao, Y., & Ji, Y. (2020). Oil palm tree detection and counting in aerial images based on Faster R-CNN. In *ECCE2019* (pp. 475-482). Springer, Singapore.
- Maas, H. G., & Vosselman, G. (1999). Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2-3), 153-163. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00004-0)
- Nahhas, F. H., Shafri, H. Z., Sameen, M. I., Pradhan, B., & Mansor, S. (2018). Deep learning approach for building detection using lidar-orthophoto fusion. *Journal of Sensors*, 2018 (7212307), 1-12. <https://doi.org/10.1155/2018/7212307>
- Nevatia, R., Huertas, A., & Kim, Z. (1999). The MURI Project for rapid feature extraction in urban areas. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 32(3-2W5), 3–14. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.39.2460&rep=rep1&type=pdf>
- Padwick, C., Deskevich, M., Pacifici, F., & Smallwood, S. (2010). WorldView-2 pan-sharpening. *Proceedings of the ASPRS 2010 Annual Conference*, San Diego, CA, USA. Vol. 2630, pp. 1-14. <http://www.asprs.org/wp-content/uploads/2013/08/Padwick.pdf>
- Peng, J., Wang, D., Liao, X., Shao, Q., Sun, Z., Yue, H., & Ye, H. (2020). Wild animal survey using UAS imagery and deep learning: modified Faster R-CNN for kiang detection in Tibetan Plateau. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 169, 364-376. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.08.026>
- Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S., & Kubik, K. (2007). Building detection by fusion of airborne laser scanner data and multi-spectral images: Performance evaluation and sensitivity analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(2), 135-149. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2007.03.001>
- Saralioğlu, E., & Gungor, O. (2020). Crowdsourcing in remote sensing: a review of applications and future directions. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 8(4), 89-110. <https://doi.org/10.1080/01431160600606890> 10.1109/MGRS.2020.2975132
- Saralioğlu, E., & Gungor, O. (2022) Semantic segmentation of land cover from high resolution multispectral satellite images by spectral-spatial convolutional neural network. *Geocarto International*, 37(2), 657-677, <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1734871>
- Sardoğan, M., Yunus, Ö., & Tuncer, A. (2020). Detection of Apple Leaf Diseases using Faster R-CNN. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 1110-1117. <https://doi.org/10.29130/dubited.648387>
- Satari, M., Samadzadegan, F., Azizi, A., & Maas, H. G. (2012). A multi-resolution hybrid approach for building model reconstruction from lidar data. *The Photogrammetric Record*, 27(139), 330-359. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2012.00688.x>

- Senaras, C., Ozay, M., & Vural, F. T. Y. (2013). Building detection with decision fusion. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(3), 1295-1304. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2013.2249498>
- Shufelt, J. A. (1996). Exploiting photogrammetric methods for building extraction in aerial images. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 31(B6), 74-79.
- Stuparu, D. G., Ciobanu, R. I., & Dobre, C. (2020). Vehicle detection in overhead satellite images using a one-stage object detection model. *Sensors*, 20(22), 6485. <https://doi.org/10.3390/s20226485>
- Sun, L., Tang, Y., & Zhang, L. (2017). Rural building detection in high-resolution imagery based on a two-stage CNN model. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(11), 1998-2002. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2017.2745900>
- Szegedy, C., Ioffe, S., Vanhoucke, V., & Alemi, A. (2016, February 23). *Inception-v4, inception-resnet and the impact of residual connections on learning*. <https://arxiv.org/abs/1602.07261>
- Stankov, K., & He, D.C. (2014). Detection of buildings in multispectral very high spatial resolution images using the percentage occupancy hit-or-miss transform. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(10), 4069-4080. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2308301>
- Tao, H., Runsheng, L., Qing, H., & Qingqing, K. (2021). Aircraft target recognition in optical remote sensing image with Faster R-CNN. *6th International Symposium of Space Optical Instruments and Applications*. Delft, the Netherlands, September 24-25, 2019 (pp. 55-63). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-56488-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-56488-9_6)
- The PASCAL Visual Object Classes Challenge 2007 (2021, April 12). <http://host.robots.ox.ac.uk/pascal/VOC/voc2007>
- Tzatalin. LabelImg. Git code (2020 August 12) <https://github.com/tzatalin/labelImg>
- Viola, P., & Jones, M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *Proceedings of the 2001 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition*. CVPR 2001 (Vol. 1, pp. I-I). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2001.990517>
- Vu, T. T., Yamazaki, F., & Matsuoka, M. (2009). Multi-scale solution for building extraction from LiDAR and image data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(4), 281-289. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.03.005>
- Yu, B., Liu, H., Wu, J., Hu, Y., & Zhang, L. (2010). Automated derivation of urban building density information using airborne LiDAR data and object-based method. *Landscape and Urban Planning*, 98(3-4), 210-219. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.08.004>
- Yu, Y., Guan, H., Zai, D., & Ji, Z. (2016). Rotation-and-scale-invariant airplane detection in high-resolution satellite images based on deep-Hough-forests. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 112, 50-64. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.04.014>
- Wan, S., & Goudos, S. (2020). Faster R-CNN for multi-class fruit detection using a robotic vision system. *Computer Networks*, 168(107036). <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.107036>
- Wang, Q., & Tenhunen, J. D. (2004). Vegetation mapping with multitemporal NDVI in North Eastern China transect (NECT). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6(1), 17-31. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.07.002>
- Wu, X., Sahoo, D., & Hoi, S. C. (2020). Recent advances in deep learning for object detection. *Neurocomputing*, 396, 39-64. doi: 10.1016/j.neucom.2020.01.085
- Xiao, Y., Tian, Z., Yu, J., Zhang, Y., Liu, S., Du, S., & Lan, X. (2020). A review of object detection based on deep learning. *Multimedia Tools and Applications*, 79(33), 23729-23791. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-08976-6>
- Xu, Y., Yu, G., Wang, Y., Wu, X., & Ma, Y. (2017). Car detection from low-altitude UAV imagery with the faster R-CNN. *Journal of Advanced Transportation*, 2017(2823617), 1-11. <https://doi.org/10.1155/2017/2823617>
- Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Visual Recognition (2019 October, 15). [http://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/research/very\\_deep](http://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/research/very_deep).
- Yang, S., Fang, B., Tang, W., Wu, X., Qian, J., & Yang, W. (2017). Faster R-CNN based microscopic cell detection. *2017 International Conference on Security, Pattern Analysis, and Cybernetics (SPAC)* (pp. 345-350). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SPAC.2017.8304302>
- Yao, Y., Jiang, Z., Zhang, H., Cai, B., Meng, G., & Zuo, D. (2017). Chimney and condensing tower detection based on faster R-CNN in high resolution remote sensing images. *2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing*

- Symposium (IGARSS)* (pp. 3329-3332). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2017.8127710>
- Yin, S., Li, H., & Teng, L. (2020). Airport detection based on improved faster RCNN in large scale remote sensing images. *Sensing and Imaging*, 21(1), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11220-020-00314-2>
- Yuhendra, J., & Kuze, H. (2011). Performance analyzing of high resolution pan-sharpening techniques: Increasing image quality for classification using supervised kernel support vector machine. *Research Journal of Information Technology*, 8(1), 12–28.
- Zeren, M. T., Aytulun, S. K., & Kirelli, Y. (2020). Comparison of SSD and Faster R-CNN algorithms to detect the airports with data set which obtained from unmanned aerial vehicles and satellite images. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 643-658. <https://doi.org/10.31590/ejosat.742789>
- Zhang, L., Shi, Z., & Wu, J. (2015). A hierarchical oil tank detector with deep surrounding features for high-resolution optical satellite imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(10), 4895-4909. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2467377>
- Zhang, S., Wu, R., Xu, K., Wang, J., & Sun, W. (2019). R-CNN-based ship detection from high resolution remote sensing imagery. *Remote Sensing*, 11(6), 631. <https://doi.org/10.3390/rs11060631>
- Zhang, Q. X., Lin, G. H., Zhang, Y. M., Xu, G., & Wang, J. J. (2018). Wildland forest fire smoke detection based on faster R-CNN using synthetic smoke images. *Procedia Engineering*, 211, 441-446. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.034>
- Zhu, X. X., Tuia, D., Mou, L., Xia, G. S., Zhang, L., Xu, F., & Fraundorfer, F. (2017). Deep learning in remote sensing: A comprehensive review and list of resources. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5(4), 8-36. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2017.2762307>
- Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2012). Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 118, 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.028>



## Safranbolu Eski Çarşı kentsel koruma-kullanma planlaması

### *Urban conservation-usage planning of Safranbolu Old Bazaar*

Nurhan KOÇAN\*<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Bartın Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 74100, Bartın, Türkiye.

• Geliş tarihi / Received: 13.12.2021

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 02.02.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 19.02.2022

#### Öz

Kentlerin tarihi özelliklerinin devamlılığı yanında çağın yaşam gerekliliklerinin de yerine getirilmesi anlamında kentlerin planlanması önem taşımaktadır. Safranbolu sahip olduğu kültürel değerleriyle Dünya mirası bir kenttir. Kentin evrensel boyuta ulaşan tarihi ve kültürel değerlerinin korunması ve yaşatılması, doğal özellikleri ile kültürel özelliklerinin bir arada görülerek devamlılığının sağlanması, güncel yaşam kullanımları ve turistik kullanımlar için kentin yaşam kalitesinin artırılması bu çalışmanın amacıdır. Çalışmada Safranbolu Kenti Eski Çarşı bölgesi merkez olmak üzere tarihi kent için koruma-kullanma planlaması önerilmiştir. Kent planlama önerisi, yerinde gözlem ve arazi çalışmaları yanı sıra anket çalışması ile halkın görüşleri alınarak yapılmıştır. ArcGIS 10.2 ve Photoshop CS6 yazılımları alan analizlerinin yapılması ve paftaların hazırlanması aşamalarında kullanılmıştır. Çalışmanın benzer tarihi kentlere örnek olması ve uygulamaya katkı sunması açısından yararlı olacağı öngörülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Kent planlama, Koruma-kullanma, Safranbolu, Tarihi kent

#### Abstract

Urban planning is important in terms of the continuity of the historical features of the cities as well as fulfilling the living requirements of the age. Safranbolu is a world heritage city with its cultural values. The aim of this study is to protect and preserve the universal historical and cultural values of the city, to ensure its continuity by integrating its natural and cultural features together, to increase the quality life of the city for daily use and touristic uses. In the study, a conservation-usage planning was proposed for the Safranbolu Old Bazaar City and its surroundings. The urban planning proposal was made by taking the opinions of the public with the survey as well as on-site observation and field studies. ArcGIS 10.2 and Photoshop CS6 software were used for field analysis and preparation of layouts. It is predicted that the study will be useful in terms of setting an example for similar historical cities and contributing to the application.

**Keywords:** Urban planning, Conservation-usage, Safranbolu, Historical city

\*a Nurhan KOÇAN; nkocan@bartin.edu.tr, Tel: (0378) 2235065, orcid.org/0000-0001-9433-7007

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Geçmiş uygarlıkların duygusal, işlevsel, ekonomik, bilimsel, edebi, efsanevi ve estetik değerlerini günümüze taşıyan eserler ‘Tarihi Miras’ olarak adlandırılır. Tarihi miras niteliğindeki öğelerin bir araya geldiği alanlar ise “Tarihi Çevre” olarak tanımlanmaktadır (Aydemir vd., 2004). İnsanlık tarihi boyunca çok sayıda medeniyet kurulmuştur. Bu medeniyetler, üzerinde yaşadıkları topraklardan etkilenmiş buldukları yerlere kültürlerini, örf ve adetlerini, bilim ve teknolojilerini bırakmışlardır (Ceran, 2003). Kentteki gelişmelerin getirdiği değişimlerle insanlar bu karmaşık mekânın değişimlerini karşılama çabası içerisine girmiştir (Akdemir, 2009). Zaman içerisinde, işlevlerin ve toplumun beklentilerinin değişmesiyle kentler yeni kurgularla güncel yaşama uyum sağlayabilmektedir.

Kent içindeki tarihi alanların bugün ve gelecekte de varlığını devam ettirebilmesi, bu alanların kent bütününde kentin parçalarından biri olarak çalışabilmesine bağlıdır. Tarihi yapı ve alanların yaşatılarak korunması ilkesinden yola çıkarak, kentte bulunan her tür tarihi çevrenin fiziksel, işlevsel, sosyal, kültürel ve ekonomik yönlerden kentle bir bütün hale getirilmesi gerekmektedir (Aydemir vd., 2004). Kent planlaması, insanların fiziksel çevrelerinin mekânsal ve işlevsel amaçlarla düzenlenmesi ve bu amaç doğrultusunda yapım çalışmalarının örgütlenmesini sağlamaktadır.

Kent planlaması bir yerleşmeyi oluşturan öğelerin uyumlu düzenlenmesinin yanında orada yaşayan insanların toplumsal ve ekonomik gereksinimlerini karşılayacak gelişmeleri de konu almaktadır. Kent planlaması bir yönetim işlevi, bir toplumsal eylem ya da teknik bir uğraş alanı olarak da görülebilir (Kent planlaması, 2016). Günümüzde kent planlaması herkese sağlıklı bir yaşam ortamı sağlamayı hedefler. Kentlerde yerleşim, çalışma, dinlenme ve yönetim, olanaklarını hazırlamak ve bu işlevlerin iyi ve doğru çalışması için gerekli düzenlemeleri yapmak da kent planlamasının amaçlarındandır. Kent içinde, öğeler arasındaki bağlantıyı sağlayacak etkili bir ulaşım ağı kurmak, araç trafiği yanı sıra otopark alanlarına da yer ayırmak, ayrıca kentin dış dünya ile ulaşım ve iletişim bağlantısını sağlamak da bu amaçların arasındadır. Kent planlaması kentteki altyapının en iyi biçimde kurulmasını ve en ekonomik biçimde çalışmasını, yeşil alanların düzenlenmesini, her yapının en sağlıklı biçimde devamlılığı sağlayacak çalışmalar yaparken tarihsel, doğal ve kültürel

değerlere zarar vermemeye, var olan dengeleri bozmamaya çabalar (Ders zamanı, 2016).

Kent planlaması, kentlerin fiziksel gelişimine odaklanırken halkın toplumsal ve ekonomik ihtiyaçlarını giderme ve bu esnada ortaya çıkan sorunları çözmeye çalışan bir bilimdir. Buna göre kent planlaması bir metropolün tamamını ele alabildiği gibi daha küçük kentsel toplulukların yaşayacağı alanları düzenlemekle de ilgilenmektedir (Akın, 1995). Kentin çevresiyle birlikte ele alınması sağlanarak hem kentin çevresine yapacağı etkiler hem de buradan göreceği fayda ve zararlara göre hareket edilmeye çalışılır. Planlamada insan faktörü, toplumsal ve sosyal bazı hedeflere ulaşmak, kentlilerin bu anlamda memnuniyeti amaç olarak ortaya konmuştur. Ancak bu hedeflere ulaşırken geçirilen süreç alanın doğal ve kültürel değerlerini korumalıdır (Keleş, 2006).

Çağdaş koruma yaklaşımları tarihi kentlerin içinde buldukları bölge veya kentin gelişimine katkıda bulunan alanlar olarak korunması kavramını savunmaktadır. Turizm bu alanların koruma ve yaşatılmasında bir araç olmaktadır. Çevre korumaya yönelik turizm uygulamaları kentin gelişiminin beraberinde ekonomik, sosyal, fiziksel ve toplumsal açıdan gelişmiş çevreyi beraberinde getirmekte, doğal ve kültürel değerlerin korunması, yaşatılması, değerlendirilmesi ve tanıtılmasında teşvik edici bir rol üstlenmektedir (Koçan, 2004).

## 2. Materyal ve yöntem

### 2. Material and Method

Çalışma alanı Safranbolu kenti Eski Çarşı kesimidir. Alan 2.17km<sup>2</sup> büyüklüktedir. Çalışmada öncelikle alan ve konu ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Kentin doğal ve kültürel peyzaj analizi ortaya konulmuş ve planlamayı etkileyecek etmenler üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Çalışmada 100 kişi ile anket yapılmıştır. Anket yapılacak kişi sayısı örneklem hesaplaması (Eşitlik 1)’e göre belirlenmiştir. Eşitliğe göre örneklem sayısı 98 olarak bulunmuştur. Ancak hatalı anketler olabileceği düşüncesiyle anket sayısı 100’e tamamlanmıştır. Daha sonra anket bulguları, yerinde gözlem ve değerlendirmeler ile planlama projesi için bir konsept belirlenmiş ve planlama kararları alınmıştır. Çalışmada ArcGIS 10.2, Photoshop CS 6 yazılımları analiz ve haritaların oluşturulmasında kullanılmıştır. Anket uygulanacak örneklem büyüklüğü belirlenirken aşağıdaki formül kullanılmıştır (Orhunbilge, 2000).

**Eşitlik 1. Örneklem hesabı****Equation 1. Sample calculation**

$$n \geq \frac{Z^2 \times N \times p \times q}{N \times D^2 + Z^2 \times p \times q}$$

n: Örnek büyüklüğü,

Z: Güven katsayısı (%95 güven düzeyi için Z= 1.96),

N: Ana kütle büyüklüğü (Çalışma alanı toplam nüfusu 2020 yılı verilerine göre 67245 kişidir),

p: İstenen özelliğin ana kütlede bulunma oranı (Ölçülmek istenen örnek büyüklüğünün başlangıçta ana kütlede bulunma oranı bilinmediğinden ve bu konuda ön bir araştırma yapılmadığından p ve q değerleri birbirine eşit (0.5) yani %50 alınarak en yüksek tahmini değere ulaşılmaktadır),

q: Ölçülmek istenen büyüklüğün ana kütlede bulunmama oranı (1-p= 0.5),

D: Kabul edilen örnek hatasını göstermektedir (%10).

**3. Bulgular****3. Result****3.1 Çalışma alanı doğal peyzaj analizi****3.1 Natural landscape analysis of study area**

Safranbolu, Karadeniz Bölgesi'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde Karabük iline bağlı bir ilçedir. Karabük, kuzeyde Bartın, kuzeydoğu ve doğuda Kastamonu, güneydoğuda Çankırı, güneybatıda Bolu, batıda ise Zonguldak illeriyle komşudur. Kent Karadeniz'den 65 km içeride bulunmaktadır. Safranbolu, 41°-16' kuzey enlemi, 32°-41' doğu boylamı üzerindedir. Safranbolu, Karabük il merkezine 8 km uzaklıktadır (Safranbolu Belediyesi, 2011) (Şekil 1). Safranbolu'nun Akçasu, Babasultan Bağlar, Çavuş, Çeşme, Çarşı, Cami Kebir, Hacı Halil, Hüseyin Çelebi, Musalla, İsmet Paşa, Karaali, Aşağı Tokatlı, Barış, İnönü, Yeni Mahalle, Emek, Esentepe mahalleleri bulunmaktadır (Koçan, 2004). Safranbolu'nun karayolu ile Bartın ve Kastamonu bağlantısı vardır. Safranbolu kültürel eserleriyle 1994 yılında UNESCO Dünya Miras Listesine girmiştir. 1200'ü koruma altında olan yapıları ile birlikte 21 adet arkeolojik sit, 6 adet kentsel sit, 2 adet doğal sit alanı bulunmaktadır (Safranbolu, 2016) (Şekil 2).



**Şekil 1.** Safranbolu'nun konumu  
**Figure 1.** Location of Safranbolu



**Şekil 2.** Safranbolu'dan bir görünüm  
**Figure 2.** A view from Safranbolu

Safranbolu, Karadeniz ve İç Anadolu iklimi arasında bir geçiş kuşağındadır. Kuzeyinde yer alan dağ sıraları ılımlı deniz ikliminin içerilere girmesine kısmen engel olur. Safranbolu'da yazlar ılık ve yağmurlu, kışlar soğuk ve kar yağışlı geçer. Yıllık ortalama sıcaklık 10.8°C'dir. Yıllık ortalama nem oranı %60'tır (Çetinkaya, 1998). Yıllık ortalama yağış 421 mm'dir. Eski Çarşı bölgesi vadi içinde kaldığından rüzgârlara kapalıdır. Bu nedenle kışın soğuk esen rüzgârlardan korunmuştur, yazın ise çok sıcak olur. Safranbolu'da rüzgârın en çok estiği yön kuzey ve kuzeybatıdır (Safranbolu, 2016).

Safranbolu kuzeyden güneye alçalan az eğimli ve sırasıyla kalker-marn-kalker tabakalarından oluşan arazinin, akarsularla yarılmaması sonucu meydana getirdiği vadiler içinde ve çevresinde yer alır. Kentin kuzeyinden başlayan Gümüş Deresi, açtığı vadi içinde dar ve derin kanyon oluşturmuştur. Kalenin bulunduğu tepe, akarsularla aşınmamış ve bir ada gibi yüksek kalmıştır. Kuzeydoğudan gelen Akçasu Deresi, dar ve derin bir vadiden geçtikten sonra, Akçasu Mahallesi'nde genişler, Cinci Hanı altında yapılmış tünellerden geçer. Burada Akçasu Deresi vadisiyle Gümüş Deresi vadisi birleşerek geniş bir çukur alan oluşturur. Bu alan içinde Çarşı ve Tabakhane Mahallesi yer alır. Akçasu Deresi Aşağı Tabakhane ve Gümüş Deresi'yle birleşir (Akman, 2000).

Safranbolu etrafı yüksek tepelerle çevrili, havza karakteri gösterir. Ortalama yükseklik 250-500 metredir. Bölgenin jeolojik oluşumu bir yandan derin ve uzun kanyonları, diğer yandan uzunlukları kilometrelerle ifade edilen mağaraları meydana getirmiştir. İncekaya Kanyonu'nun üzerinde İncekaya Su Kemerli yer almaktadır. Düzce Kanyonu, Tokatlı ve Sakaralan Kanyonları Safranbolu'nun diğer önemli ve turistik kanyonlarıdır (Işık, 2007).

Safranbolu'ya ismini veren safran çiçeği, dünyanın en pahalı baharatı olma unvanını taşıyan endemik bir bitkidir. Safran; ilaç, gıda ve kozmetik sanayinde kullanılmaktadır (Havaçekim, 2016). Safranbolu'da kentnin doğal bitki örtüsünde *Abies bornmülleriana* (Batı Karadeniz Gökarnı), *Arbutus unedo* (Koca Yemiş), *Carpinus betulus* (Gürge), *Celtis australis* (Çitlembik), *Clematis vitelba* (Ak Asma), *Cornus* sp. (Kızılçık), *Cotoneaster nummularia* (Dağ Muşmulası), *Daphnea pontica* (Defne), *Diospyros kaki* (Hurma), *Euphorbia helioscopia* (Güneş Sütleyeni), *Fragaria vesca* (Yabani Çilek), *Fagus orientalis* (Doğu Kayını), *Hedera helix* (Orman Sarmaşığı), *Ilex aquifolium* (Çoban Püskülü), *Jasminum fruticans* (Yasemin), *Juniperus pxycedrus* (Katran ağacı), *Malus sylvestris* (Elma), *Lonicera etrusca* (Hanımeli), *Phillyrea media* (Akçakesme), *Pinus brutia* (Kızılçam), *Pinus nigra* (Karaçam), *Pinus sylvestris* (Sarı Çam), *Pistacia terebinthus* (Melengiç), *Populus nigra* (Karakavak), *Prunus laurocerasus* (Kara Yemiş), *Quercus* sp. (Meşe), *Rhododendron ponticum* (Orman Güllü), *Rosa canina* (Kuş Burnu), *Rubus fruticosus* (Adi böğürtlen), *Sorbus domestica* (Üvez), *Urtica dioiceca* (Büyük Isırgan Otu), bulunmaktadır (Yazgan, 1979; Koçan, 2004).

### 3.2 Çalışma alanı kültürel peyzaj analizi

#### 3.2 Cultural landscape analysis of study area

Kentin geçmişi MÖ. 3000li yıllara kadar uzanmaktadır. Safranbolu 1423 yılından itibaren Osmanlıların egemenliğine girmiştir. Kent 17. yüzyılda Sinop-Gerede-İstanbul ticaret yolu üzerinde önemli bir konaklama ve malların değişim merkezi olmuştur (Safranbolu Belediyesi, 2016). Safranbolu geleneksel Türk toplum yaşantısı sergileyen kent dokusu ile "Korumanın Başkenti" unvanı almıştır. Safranbolu'da 1500'ü aşkın korunması gerekli kültür ve tabiat varlığı bulunmaktadır (Koçan, 2004). Safranbolu'yu ön plana çıkaran 18.ve 19.yy. Türk hayatının geçmişini, kültürünü, ekonomisini, teknolojisini ve yaşama biçimini yansıtan sivil Osmanlı mimarisini taşıyan geleneksel Türk evleridir (Şekil 3, 4).

Bunun dışında Safranbolu ve çevresinde 32 adet Tümülüs (Şekil 5) ve 4 adet höyük bulunmaktadır. Safranbolu Gümüş semtinde ve Barış Mahallesinde Küçük Göztepe tümülüsleri vardır. Ayrıca Safranbolu-Kastamonu karayolu üzerinde Roma dönemine ait pek çok kaya mezarı bulunmaktadır. Safranbolu'da kent merkezinden 8 km uzaklıktaki İncekaya (Şekil 6) ve Tokatlı kanyonları (Şekil 7) ve devamı niteliğinde olan çarşı kesimindeki Gümüş ve Akçasu kanyonları, Kastamonu yönünde Safranbolu'ya 13 km uzaklıktaki Düzce (Kirpe) ve Sakaralan kanyonları doğa turizmi için önemli değerlerdir. Turizmde yeri oldukça önemli olan 3 adet mağara bulunmaktadır. Bunlar; Bulak Mencilis Mağarası (Şekil 8), Hızar Mağarası, Ağzıkara Mağarasıdır. Safranbolu Uluyayla ve Sarıçiçek Yaylası (Şekil 9) önemli yayla turizm merkezidir.

Kentin turistik ve tarihi eserlerinin yoğunlaştığı bölge "Eski Çarşı" kesimidir. Eski Hükümet Binası (Şekil 10), Saat Kulesi (Şekil 11), Cephane Binası, Eski Hapishane Binası, üzerinde iki anıt mezar bulunan Hıdırlık Tepesi (Şekil 12), Köprülü Mehmet Paşa Camii (Şekil 13), İzzet Mehmet Paşa Camii, Kazdağlıoğlu Camii, Dağdelen Camii, Kaçak Camii (Şekil 14) ile Cinci Hanı (Şekil 15) ve Cinci Hamamı (Şekil 16), Ulu Camii (Ayestefenos Kilisesi), turistlerin ilgi gösterdikleri tarihi yapılarıdır. Safranbolu'da bugün halen üretimin sürdüğü Demirciler, Bakırcılar (Şekil 17), Kalaycılar ve Semerciler Çarşıları kentteki el işçiliğinin devamını sağlamaktadır. Yemenciler Arastası (Şekil 18) ve çevresindeki dükkanlar, kente gelen turistlerin Safranbolu'ya özgü hediyelik eşya bulabileceği yerler arasındadır. Kentte Altın Safran Belgesel Film Festivali, Safran Hasat Şenliği (Şekil 19), Uluyayla Şenlikleri ve Bağ Bozumu Şenliği (Şekil 20) her yıl yapılmakta ve kente önemli turizm geliri sağlamaktadır.



Şekil 3. Mümtazlar konağı (Tatildeyim, 2016)

Figure 3. Mümtazlar mansion (Tatildeyim, 2016)



**Şekil 4.** Havuzlu konak  
**Figure 4.** Mansion with pool



**Şekil 5.** Kent içi tümülüs (Safranbolu üçyüztümüş,  
2016)  
**Figure 5.** Urban tumulus (Safranbolu üçyüztümüş,  
2016)



**Şekil 6.** İncekaya kanyonu (Fotograftürk, 2016)  
**Figure 6.** İncekaya canyon (Fotograftürk, 2016)



**Şekil 7.** Tokatlı kanyonu (Havaçekim, 2016)  
**Figure 7.** Tokatlı canyon (Havaçekim, 2016)



**Şekil 8.** Bulak (Mencilis) mağarası  
**Figure 8.** Bulak (Mencilis) cave



**Şekil 9.** Sarıçiçek yaylası (Blogspot, 2016)  
**Figure 9.** Sarıçiçek plateau (Blogspot, 2016)



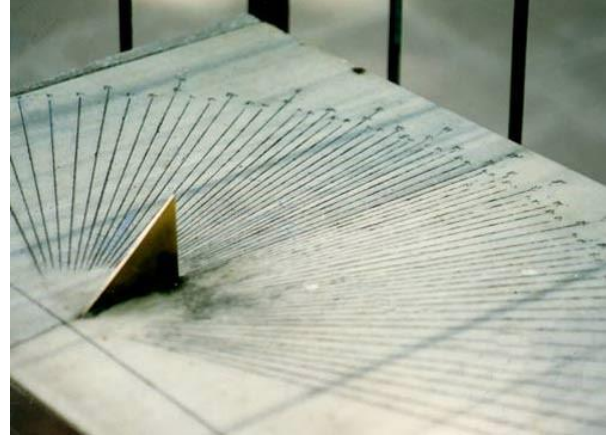
**Şekil 10.** Hükümet konağı  
**Figure 10.** Government house



**Şekil 11.** Saat kulesi  
**Figure 11.** Clock tower



**Şekil 12.** Hıdırlık tepesi  
**Figure 12.** Hidirlik hill



**Şekil 13.** Köprülü Mehmet Paşa camii güneş saati  
**Figure 13.** Köprülü Mehmet Pasha mosque sundial



**Şekil 14.** Kaçak (Lütfiye) camii  
**Figure 14.** Kaçak (Lutfiye) mosque



**Şekil 15.** Cinci hanı  
**Figure 15.** Cinci inn



Şekil 16. Cinci hamamı  
Figure 16. Cinci hamam



Şekil 19. Safran çiçeği (Havaçekim, 2016)  
Figure 19. Saffron flower (Havaçekim, 2016)



Şekil 17. Bakırcılar çarşısı  
Figure 17. Coppersmiths' bazaar



Şekil 20. Çavuş üzümü (Evdeşifa, 2016)  
Figure 20. Sergeant grape (Evdeşifa, 2016)



Şekil 18. Yemeniciler çarşısı  
Figure 18. Yemeniciler bazaar



Şekil 21. Maket ev  
Figure 21. Model house



Şekil 22. Safranbolu lokumu (Evdeşifa, 2016)  
Figure 22. Safranbolu Turkish delight (Evdeşifa, 2016)

19. yüzyılda Safranbolu ekonomisinde; dericilik, yemenicilik, semercilik, saraçlık, fırıncılık, katırcılık, hallaçlık, bez dokumacılığı, urgancılık, demircilik, kalaycılık, hattatlık, kereste ticareti, nalbantlık, helvacılık, keçecilik, şekerlik etkili olmuştur. Köylerde ise tarım ve hayvancılık ve safran bitkisi ön plandadır (Fidan, 2011). 1937 yılında Karabük Demir Çelik işletmesi kurulmuştur. Daha sonraki dönemlerde, turizm yeni bir sektör olarak ön plana çıkmıştır. Önceleri günübirlik ziyaretler şeklinde başlayan turizm hareketleri, daha sonra hafta sonu gezileri, doğa aktiviteleri şeklinde konaklamalı hale dönüşmüştür. Günümüzde el sanatları ürünleri, maketçilik (Şekil 21), bez dokumalar, ahşap ürünleri, lokum-şekerleme ürünleri (Şekil 22), kurutulmuş gıda ürünleri ve çeşitli şifalı bitkilerin satışı şeklindedir.

Çalışma alanı toplam nüfusu 2020 yılı verilerine göre 67245 kişidir. 2000li yılların başında kent nüfusu 30000'dir (Nüfus, 2016). Yirmi yıllık süreçte nüfusun doğal olarak arttığı ve göç vermediği görülmektedir. Bunda Karabük demir çelik sanayisinin ve kentteki turizm iş olanaklarının payı büyüktür. Kentin yeni yerleşim alanının da Eski Çarşı ve Karabük il merkezine yakınlığı kentten göç etmeyi engellemiştir.

### 3.3 Anket bulguları

#### 3.3 Survey findings

Safranbolu'da halkın kent algısını sorgulamak amacıyla bir anket çalışması yapılmıştır. Anket, arazi gezisi öncesinde örnek çalışmalardan derlenmiş olan bir anket formuna bağlı kalınarak yüz yüze görüşme yöntemiyle uygulanmıştır. Basit tesadüfi örneklerin seçimiyle uygulanan anket 28 sorudan oluşmaktadır.

**Tablo 1.** Anket bulguları

**Table 1.** Survey findings

#### Soru 1: Cinsiyet

**Durum:** Ankete katılanların % 52'si kadın, % 48'i erkektir. Bu oranın dengeli olması kullanıcıların cinsiyet bakımından dengeli olduğunu göstermektedir.

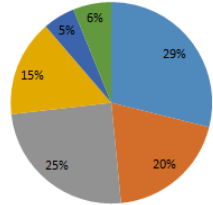
**Çözüm:** Yapılacak planlamada cinsiyete göre dengeli alanlar oluşturulmalıdır.



#### Soru 2: Yaş grubu

**Durum:** Anket yapılan halkın % 29'u 16-25, % 20'si 26-35, % 25'i 36-45, % 15'i 46-55, % 5'i 56-65, yaş aralığındadır. % 6'sı 65 yaştan büyüktür. Anket sonuçlarına göre yaş grubu dağılımı göz önüne alındığında yaşlı nüfusun az olduğu görülmektedir.

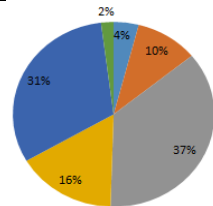
**Çözüm:** Alanda gençlerin ilgisini çekecek ve onlara yeni iş alanı oluşturacak aktivite alanları planlanacaktır. Örneğin açık alanlarda satranç alanları, müzik yapılabilecek alanlar oluşturulabilir. Büyük yaş grupları için dinlenme ve sessiz yeşil alanlar oluşturulmalıdır.



#### Soru 3: Eğitim durumu

**Durum:** Anket yapılan halkın % 4'ü okuryazar, % 37'si ilköğretim, % 16'sı lise, % 31'i üniversite, % 2'si lisansüstü eğitimi almıştır. % 10'u okuryazar değildir.

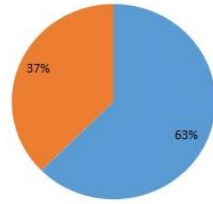
**Çözüm:** Halka sertifikalı iş, meslek edinme, uzmanlık vb. kurslar açılabilir.



#### Soru 4: Medeni durum

**Durum:** Anket yapılan halkın % 63'ü evli, % 37'si bekârdır.

**Çözüm:** Planlamada gençlerin daha aktif olması ve burada yaşam sürebilmeleri için spor ve eğlence alanları kurulmalıdır. Evli çiftler düşünüldüğünde çocuk oyun alanı ihtiyacı ve ailelere yönelik kullanım alanları da gerekmektedir.



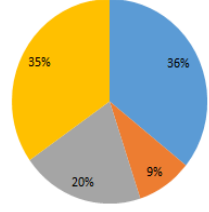


**Tablo 1. Devamı**  
**Table 1. Continuing**

**Soru 5: Geçiminizi nasıl sağlamaktasınız?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 36'sı özel sektörde, % 35'i diğer işlerde çalışmaktadır. % 9'u kamu personeli, % 20'si emeklidir. Özel sektörde çalışanların çoğu turizm ve alt kollarını oluşturan hizmet sektörlerinde çalışmaktadır.

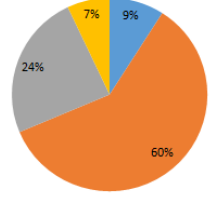
**Çözüm:** Yeni oluşturulacak iş alanları, temizlik işçisi, rehber, tanıtım çalışmalarında görevli personel, güvenlik görevlisi vs. olabilir. Ayrıca rekreasyon ve spor alanları, eğitim ve kültür alanında çalışacak elemanlar istihdam sorunu için çözüm olacaktır. Turizm potansiyeli yüksek bir yer olmasının sağlayacağı avantajla yöresel ürün pazarı kurulması hem iş imkanı hem de Safranbolu tanıtımına katkı sağlayacaktır.



**Soru 6: Oturduğunuz evin mülkiyet durumu nedir?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 9'u miras, % 60'ı kendi mülkü, % 24'ü kira, % 7'si diğer cevabını vermiştir. Safranbolu'daki konutların çoğunun ev sahiplerine ait olduğu görülmektedir.

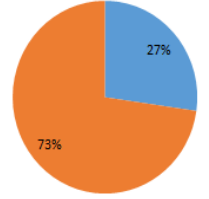
**Çözüm:** Ev sahipleri ve bakımsız yapı ve bahçelerin bakımı konusunda bilgilendirilmelidir. Evlerin terkedilmesinin nedeni bakım ve onarım için yeterli bilinç kaybıdır. Konut sahiplerine birebir ulaşıp bilgilendirmek gerekmektedir. Devlet destekli onarımlar halkın üstesinden gelemeyeceği bir ücretlendirme oluşturmamaktadır. Terkedilmiş konutların ve bahçelerin turizme yönelik işletmelere kiralanması veya kamulaştırılması ile yeniden kullanılması ve korunması sağlanmış olacaktır.



**Soru 7: Safranbolu'da yaşadığınız bina tescilli konut mu?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 27'si evet, % 73'ü hayır cevabını vermiştir. Restore edilen binaların otel, restoran, kafe vb. şeklinde kullanılması sonucu etkilemiştir.

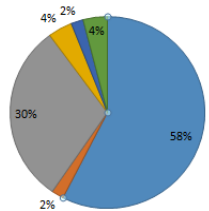
**Çözüm:** Bütün bakımsız ve tescilli olmayan yapılarda restorasyon çalışmaları önerilmeli ve kentin görsel bütünlüğünü korunmalıdır. Bunun için ziyaretçilerden küçük miktarlarda kente giriş ücreti alınmalı ve elde edilen gelir kentin bakım ve onarım çalışmalarında kullanılmalıdır.



**Soru 8: Safranbolu'ya geliş amacınız nedir?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 58'i Safranbolulu, % 30'u burada ikamet eden, % 2'si Unesco Dünya Mirası olduğu için burada yaşayan, % 4'ü geleneksel mimari yerleşim ilgi çektiği için burada yaşayan, % 4'ü tarihi kent dokusu sebebiyle burada yaşayanlardır. % 2'si akraba/tanıdık ziyareti, geriye kalan kısım diğer cevabı vermiştir.

**Çözüm:** Kentte yaşayan kişiler genellikle Safranbolulu olduğu için yapılacak planlama kenti geliştireceği için planlamayı olumlu etkileyecektir.

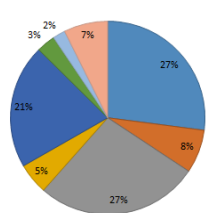
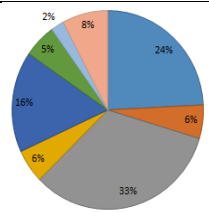


**Soru 9: Safranbolu'da dikkatinizi çeken en önemli mekanlar nerelerdir?**

**Durum:** Anket yapılan erkeklerin % 24'ü Cinci Hanı, % 6'sı Saat Kulesi, % 33'ü Cam Teras, % 6'sı Kazdağlı Meydanı, % 16'sı Hıdırlık Tepesi, % 5'i Güneş Saati, % 2'si Cumhuriyet Meydanı, % 8'i diğer cevabını vermiştir.

Anket yapılan kadınların % 27'si Cinci Hanı, % 8'i Saat Kulesi, % 27'si Cam Teras, % 5'i Kazdağlı Meydanı, % 21'i Hıdırlık Tepesi, % 3'ü Güneş Saati, % 2'si Cumhuriyet Meydanı, % 7'si diğer cevabını vermiştir.

**Çözüm:** Bu sonuçlar doğrultusunda halkın kent merkezinde yoğunlaştığı görülmektedir. Safranbolu kentinin tarihi değerlerinin reklamının yapılması gerekmektedir. Bu sayede Safranbolu'nun bilinçli ziyaretçisi ve ekonomik geliri de artacaktır. Cumhuriyet Meydanı ve Kazdağlı Meydanı'nın yeni bir meydan tasarımıyla canlılığı artırılabilir. Saat Kulesi peyzaj tasarımları ve bitkilendirme desteğiyle canlandırılabilir. Ziyaretçilerin, bölgede kalış süresini uzatılabilmesi için konutların restore edilip konaklama alanlarının artırılması gerekmektedir. Konaklama alanlarının artması ile kaliteyi düşürmeden fiyatların kısmen düşürülmesi alanda daha fazla insanın konaklayabilmesini ve dolayısıyla kentte daha fazla vakit geçirmesini sağlayacaktır.

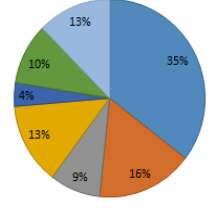


**Tablo 1. Devamı**  
**Table 1. Continuing**

**Soru 10: Safranbolu’da gezmiş olduğunuz yerlerin en çok hangi özelliğini beğendiniz?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 35’i geleneksel ve mimari yerleşim, % 16’sı yöresel yemekler, % 9’u yerel halkın tutumu, % 13’ü kent ve yakın çevredeki mekanlar, % 4’ü folklorik değerler, % 10’u doğal bitki örtüsü ve safran bitkisi, %13’ü diğer cevabını vermiştir.

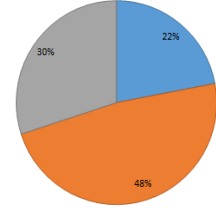
**Çözüm:** Kentin geleneksel ve mimari yerleşim özelliği desteklenmelidir. Kentin doğal bitki örtüsü ve safran bitkisi cevabı oranı azınlıktadır. Fakat Safranbolu mimari dokusu kadar doğal bitki örtüsü ile de ön planda olmalıdır bu nedenle doğal alanların bakımı yapılmalıdır.



**Soru 11: Safranbolu’da çöp kutusu, bank, aydınlatma, durak, bilgilendirme ve yönlendirme tabelaları gibi donatılar sizce yeterli mi?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 22’si evet, % 30’u kısmen, % 48’i hayır cevabını vermiştir. Kentte aydınlatma elemanları, bankların ve çöp kovalarının azlığı görülmektedir.

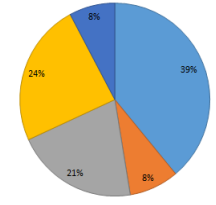
**Çözüm:** Kentin görünümüne uygun donatılar seçilerek eksiklikler giderilmelidir.



**Soru 12: Sizce kentin en önemli sorunları nelerdir?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 39’u iş olanakları azlığı, % 8’i ziyaretçi yoğunluğu, %21’i açık yeşil alan yetersizliği, % 24’ü alt yapı yetersizliği, % 8’i diğer cevabını vermiştir.

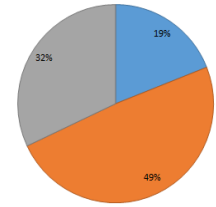
**Çözüm:** Halka yönelik iş edindirme kursları açılabilir. Safranbolu kültür turizminde kaliteyi artıracak planlamalar yapılmalıdır. Turizmi canlandırmak adına tanıtımlar yapılmalıdır. Kent çevresinde otopark yapılmalıdır. Kent parkları yapılmalıdır. Restorasyon işlerinde çalışabilecek yerel ustaların eğitimi sağlanarak elemanlar niteliksel ve niceliksel olarak geliştirilmelidir. Turizm sektörüne yönelik faaliyet gösteren işletmeler yabancı ziyaretçilerle etkin iletişim sağlayabilecek yabancı dil bilen eleman istihdam etmeli ve yabancı dil kursları açılmalıdır.



**Soru 13: Safranbolu’daki dinlenme alanlarını (park, piknik alanı, avlu, meydan vs.) yeterli buluyor musunuz?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 19’u yeterli buluyorum, % 32’si kısmen yeterli, % 49’u yeterli bulmuyorum cevabını vermektedir. Halkın çoğunluğu dinlenme alanlarının yetersizliğinden şikâyet etmektedir.

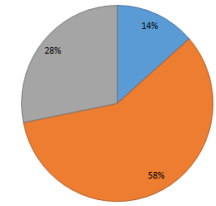
**Çözüm:** Hasandede Tepesi seyir alanı için iyi bir seçim olabilir. Hastane altı diye geçen alanda da bir seyir terası ve oturma alanı oluşturulabilir. Babasultan mahallesi spor alanı ve rekreasyon alanı için ideal konumdadır.



**Soru 14: Dinlenme alanlarını ne kadar sıklıkla kullanıyorsunuz?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 14’ü her gün, % 58’i haftada birkaç gün, %28’i diğer cevabını vermiştir. Dinlenme alanı yetersizliği bu cevapları etkilemiştir.

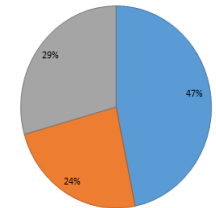
**Çözüm:** Haftanın belli günleri dinlenme alanlarında aktivite yapabilecekleri programlar oluşturularak kullanım artırılabilir ve yoğunluğu haftalara yayarak daha fazla verim ve memnuniyet sağlanacaktır.



**Soru 15: Safranbolu’da bulunan açık alanların kentin çekiciliğine katkısı var mıdır?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 47’si katkısı var, %29’u kısmen var, % 24’ü katkısı yok cevabını vermiştir.

**Çözüm:** Bu sonuca göre açık alanların artırılması gerekmektedir. Doğal alanların kente etkisini arttırmak kente gelen misafir sayısına, ekonomik katkıya olanak sağlayacaktır. Kentteki kullanılmayan, bakımsız açık yeşil alanların bitkilendirme çalışmaları yapılarak kentin çekiciliği artırılabilir. Bitkilendirme de doğal bitki türleri kullanılmalıdır.

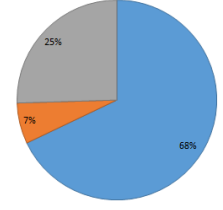


**Tablo 1.** Devamı  
**Table 1.** Continuing

**Soru 16: Safranbolu kentini güvenli buluyor musunuz?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 68'i güvenli, % 25'i kısmen güvenli, % 7'si güvenli değil cevabını vermiştir. Halkın çoğunluğu Safranbolu kentini güvenli bulmaktadır. Özellikle ziyaretçiler için dar sokaklar geceleri endişe olmaktadır.

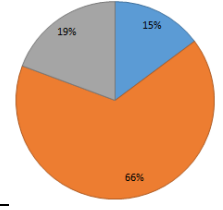
**Çözüm:** Turizm ile ön planda olan bir mekanda güvenlik her yerde son seviye olmalıdır. Safranbolu'da güvensiz bölge olarak bilenen bölgelerde MOBESE sistemi ve aydınlatma elemanları konulmalıdır. MOBESE sisteminin varlığının insanlara duyurulmasının da güven oluşturacağı öngörülmektedir. Bunun için kentin belirli noktalarına işaret ve uyarı levhaları konulabilir. Bu suçun engellenmesini ve insanların daha güvende hissetmesini sağlayacaktır.



**Soru 17: Safranbolu'da turizm ve kentleşme yeşil alanları olumsuz etkilemekte midir?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 15'i etkiler, % 19'u kısmen etkiler, % 66'sı hayır cevabını vermiştir.

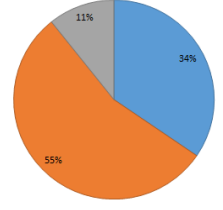
**Çözüm:** Kentteki tarihi yapılara yönelik turizm açık yeşil alanları da içeren turizmle desteklenmelidir.



**Soru 18: Açık-yeşil alanları yeterince bakımlı buluyor musunuz?**

**Durum:** Anket yapılan halkın %34'ü bakımlı, % 11'i kısmen bakımlı, % 55'i bakımsız cevapları vermiştir.

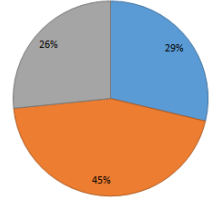
**Çözüm:** Açık yeşil alanların temizliğinin iyi olabilmesi için çöp kovaları artırılabilir. Bakım için gerekli bütçe düzenlenecek festival katılım ücretleri veya müzelerden sağlanacak gelirlerle kazanılabilir. Ayrıca otopark ücreti de önemli bir bütçe kaynağıdır.



**Soru 19: Sizce Safranbolu'da çevreyi ve doğayı korumak için alınan önlemler yeterli midir?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 45'i önlemlerin yetersizliğini vurgulamaktadır. % 26 evet, % 29 kısmen cevabı vermiştir.

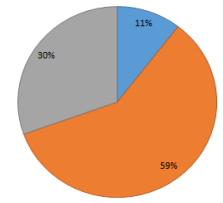
**Çözüm:** Doğa koruma önlemlerini arttıracak ve halkı bu konuda bilinçlendirecek çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca doğaya zarar veren kişiye para cezası uygulaması caydırıcı bir etken olabilir. Çocuk doğa kulüpleri kurularak çocukların bilinçlenmesi sağlanmalıdır.



**Soru 20: Safranbolu'da spor tesislerini ve spor alanlarını yeterli buluyor musunuz?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 11'i evet, % 30'u kısmen, % 59'u hayır cevabını vermiştir.

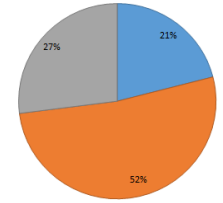
**Çözüm:** Kentin etrafına çeşitli spor alanları planlayarak insanların rekreatif eylemlerini yapmalarına olanak sağlanmalıdır. At biniciliği, yamaç paraşütü gibi ayrıca açık spor alanları için alanlar oluşturulabilir.



**Soru 21: Safranbolu'da çocuklar için oluşturulmuş alanları yeterli buluyor musunuz?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 21'i evet, % 27'si kısmen, % 52'si hayır cevabını vermiştir. Bulunan çocuk oyun alanları da evlere uzak konumdadır.

**Çözüm:** Safranbolu'da çocuk oyun alanlarının yapılması gerekmektedir. Babasultan mahallesi, Gümüş bölgesi ve Hasandede Tepesinde kapsamlı çocuk oyun alanları oluşturulabilir. Aynı zamanda bakımsız olan çocuk oyun alanları onararak kullanılabilir duruma getirilmelidir.

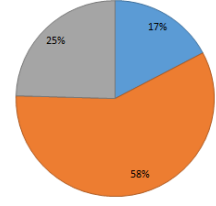


**Tablo 1. Devamı**  
**Table 1. Continuing**

**Soru 22: Safranbolu’da çocuk oyun alanlarından yeterince yararlanıyor musunuz?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 58’i hayır, % 17’si evet, % 25’i kısmen cevabı vermiştir. Sonuçlar yeterince oyun alanının olmaması, oyun alanlarının evlere uzak olmasından kaynaklanmaktadır.

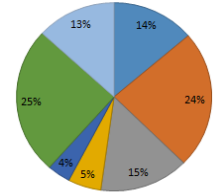
**Çözüm:** Oyun alanları çeşitlendirilmeli bu şekilde çocuklu ailelerin de kenti ziyaret etmesi sağlanmalıdır.



**Soru 23: Safranbolu’da dinlenme ve eğlenme amaçlı hangi aktiviteleri yapıyorsunuz?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 14’ü park gezintisi, % 24’ü piknik kamp alanı, % 15’i doğa yürüyüş parkuru, % 5’i spor faaliyetleri, % 4’ü bisiklet gezisi, % 25’i kent gezisi, % 13’ü yeme-içme aktiviteleri cevabını vermiştir.

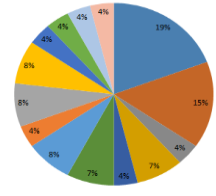
**Çözüm:** Halkın spor yapabilmesi için fitness alanı, kapalı spor alanları, futbol sahaları yapılabilir. Bu sayede Safranbolu halkının da etkinlik alanları daha da çoğalabilir. Böylece faaliyet olanakları artırılmalıdır.



**Soru 24: Safranbolu’ya turistik ve rekreasyon amaçlı yenilikler yapılacak olsa hangilerini daha çok istersiniz?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 19’u otopark, % 15’i park, % 4’ü teleferik, % 7’si yeşil alan, % 4’ü spor alanı, % 4’ü kapsamlı çocuk oyun alanı, % 8’i dinlenme alanı, % 4’ü bar, % 8’i gezinti alanı, % 8’i restorasyon, % 4’ü paintball, % 4’ü sinema, % 4’ü yol, % 4’ü safran bitkisi yetiştirme alanı cevabını vermiştir.

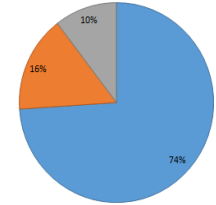
**Çözüm:** Safranbolu kentinde otopark sorunu büyük bir sorundur. Ziyaretçilerin çoğu park alanı bulamamaktan dolayı şikâyetçidir. Bu sorunun çözümü için açık ve kapalı otopark yapılmalıdır. Diğer bir seçenekte kentin dışına otopark tasarlayıp kent içi ulaşımı toplu taşımalar ile sağlamaktır. Halkın park isteğini karşılama amaçlı uygun olan açık alanlar dinlenme alanları olarak değerlendirilmelidir. Tokatlı, Sakalaran, Keltepe ve şeker kanyonları doğa turizmi ve yürüyüş ve doğa sporları parkurları olarak değerlendirilebilir.



**Soru 25: Şehrin turizm noktalarına ulaşım kolay mıdır?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 74’ü evet, % 10’u kısmen, % 16’sı hayır cevabını vermiştir.

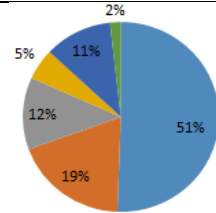
**Çözüm:** Kristal terasa merkezden gidilecek bir trekking güzergahı oluşturulabilir. İncekaya su kemeri ve Tokatlı kanyonuna teleferik ile ulaşım sağlanabilir. Kent içinde trafik yoğunluğu azaltılarak tek yön trafik kullanılmalıdır. Bu aşamada yeni bisiklet yolları oluşturulmalıdır ve faytonlar ile ulaşım eğlenceli hale getirilebilir. Uzak olan kısımlara ise toplu taşıma araçları getirilmelidir.



**Soru 26: Kentteki turizm hareketliliği sizce kentinizde ne gibi katkılar sağlamıştır?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 51’i ekonomik katkı, % 19’u kültürel katkı, % 12’si iş gücü, % 5’i koruma bilinci, % 11’i kentin fiziksel yenilenmesi, % 2’si diğer cevabını vermiştir.

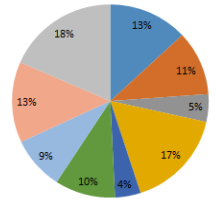
**Çözüm:** Kentteki turizm faaliyetleri artırılmalıdır. Yaz kış turizm faaliyetlerinin devamlılığı ve hareketliliği kente ekonomik, kültürel ve iş gücü bakımından büyük oranda fayda sağlayacaktır.



**Soru 27: Sizce kentsel sit alanındaki başlıca sorunlar nelerdir?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 13’ü ulaşım sorunu, % 11’i yeşil alan yetersizliği, % 18’i kamusal alanların bakımsızlığı, % 17’si altyapı sorunu, % 4’ü kaçak yapılaşma, % 10’u görsel kirlilik, % 9’u mal ve hizmet ürünlerinin pahalı olması cevabını vermiştir.

**Çözüm:** Bakım çalışmaları için ekonomik gelir getirici çözümler sunulmalıdır.

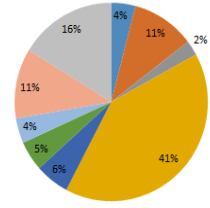


**Tablo 1. Devamı**  
**Table 1. Continuing**

**Soru 28: Safranbolu'ya tekrar gelmek istemenizin nedeni nedir?**

**Durum:** Anket yapılan halkın % 4'ü tesislerin kalitesi, % 11'i ulaşım kolaylığı, % 2'si fiyat uygunluğu, % 41'i kültürel miras, % 6'sı güvenlik düzeyi, % 5'i folklorik, % 4'ü eğlence olanakları, % 11'i gelmek istemiyor, % 16'sı diğer cevabını vermiştir. Gelmek istemeyen % 11'lik kesim ise dinlenme alanları ve çocuk oyun alanlarının eksikliğini vurgulamışlardır.

**Çözüm:** Yaşlı ve çocuklara yönelik dinlenme alanı, ücretsiz dinlenme alanları ve çocuk oyun alanları yapılmalıdır.



### 3.4 Planlama projesi

#### 3.4 Planning project

Doğal ve kültürel miras birikimini, tarih boyunca koruyarak toplumun geniş kitlelerine aktaran araştırma alanı, peyzaj özellikleri ile bütünleştiği ölçüde değer kazanacaktır. Edinilen bulgular araştırma alanına getirilebilecek yeni çözümler için fikir verecektir (Şekil 23, 24, 25).

#### Konsept

##### Concept

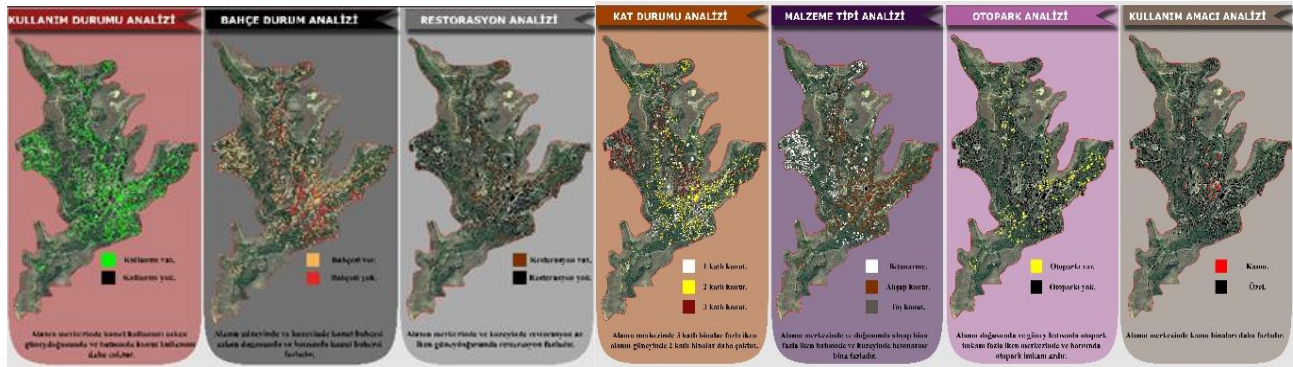
**Safranbolu yaşam durakları:** Safranbolu'nun tarihi özelliğini ve kültür turizmini koruma kullanma olgusuyla geliştirmek amacıyla bu konsept ortaya çıkmıştır. Bu konsept altında oluşturulan duraklar belirli temalardaki merkezleri ifade etmektedir. Konsept ile Safranbolu'nun turizm açısından önemli olan çok yönlü yapısının

daha planlı, sistematik bir yapıya ulaşması sağlanacaktır. Konsept altında alınan kararlar zaman planlaması çerçevesinde uygulanacaktır.

#### Projenin amacı

##### The goal of the project

- Safranbolu'da kültür turizminin gelişmesini sağlamak,
- Safranbolu'nun sorunlu alanlarını tespit edip, bu alanlar için öneriler geliştirmek,
- Safranbolu'da yeni iş alanları kurarak genç nüfusun etkinliğini artırmak,
- Ziyaretçiler ve yerli halk için rekreasyon alanları oluşturmak,
- Safranbolu'nun her kesiminde yaşam kalitesini artırmak,
- Eğitim ve kültür alanları oluşturarak halkın eğitim seviyesini artırmak.



**Şekil 23.** Planlama kararlarını etkileyen çalışma alanı analizleri (kullanım durumu, bahçe varlığı, restorasyon durumu, kat sayısı, malzeme tipi, otopark varlığı, kullanım amacı)

**Figure 23.** Workspace analyzes that affect planning decisions (usage, garden presence, restoration status, number of floors, material type, parking lot presence, purpose of use)

#### Planlama kararları

##### Planning decisions

Kentin planlama kararlarının üst kademe, uygulama imar planı ve kentsel tasarım kademesinde ele alınabileceği düşünülmüştür. Bu

kapsamda alınan kararlar aşağıda belirtilmiş ve Şekil 24 ve 25'te gösterilmiştir.

1. Kent peyzajına önemli katkısı olan açık alanlar rekreasyon etkinlikleri ile aktif hale getirilecektir. Bunun için belirlenen noktalarda

spor alanı, çocuk oyun alanı, piknik alanı, dinlenme alanı gibi rekreatif alanlar oluşturulacaktır. Çıldır ve Kılıç Sokak arasında kalan alan rekreasyon alanı için uygun görülmektedir. Debbağ Pazarı Sokak oyun sokağı olarak planlanmıştır. Yerli halk ve ziyaretçiler küçük bir ücret karşılığında bu sokaktaki oyun elemanları, hikaye ve masal evleri ile kuklalarından yararlanabilecek bu alanda çocukların bakımı için oyun görevlisi bulundurulacaktır.

2. Kentte donatı elemanları arttırılacak, halkın bilinçlenmesi açısından bilgilendirme panoları konulacaktır. Kentte görüntü kirliliğine sebep olan ürün sergileme, çeşitli afiş ve ilanlar, antenler vb. donatılar kaldırılacaktır.

3. Bakımsız olan tüm yapılar tarihi dokuyla uyumlu olacak şekilde restore edilecek ve bu yapılar restoran, konak, müze vb. şekilde yeniden işlevlendirilecektir.

4. Açık alanların bakımını sağlama amaçlı yöreye uygun doğal türlerle bitkilendirme tasarımı yapılacak, bitki türleri tarihi silüeti bozmayacak kısa boylu ve geniş yapraklı türlerden seçilecektir.

5. Güvenlik sorunu olan bölgelerin özellikle geç saatlerde yeterli miktarda aydınlatılması ve güvenlik kameralarıyla izlenmesi sağlanacaktır.

6. Tarihi çarşı girişinde otopark ve turizm danışma merkezi kurulacak ve ziyaretçilerden makul miktarda giriş ücreti alınarak kentin bakım ve restorasyon çalışmaları için kent bütçesine katkı sağlanacaktır.

7. Tarihi mekânların yangına karşı korunması için elektronik ortamda izleme, yangın muslukları, hidrat noktaları ve yangın söndürmek için helikopter pisti oluşturulacaktır.

8. Yöresel mutfak kültürünü yansıtan işletme sayıları arttırılacaktır. Kültür etkileşimini arttırmak için yöresel ürünlerin ziyaretçilerle birlikte yapıp sergilendiği mekânlar oluşturulacaktır. Bu kapsamda Akçasu, Eflani ve Hamamönü Sokak'ta yöresel yemek evi olarak hizmet verecek yapılar belirlenmiştir.

9. Yılın belirli dönemlerinde bağbozumu ve safran hasadı festivali ve yöresel mutfak şenlikleri düzenlenecektir.

10. Restorasyon işlerinde çalışacak yerel ustaların niteliksel olarak gelişmesini sağlamak için eğitici kurslar açılacaktır. Ayrıca yabancı

turistlerle iletişimin sağlanması için özellikle işletme sahiplerine yönelik yabancı dil kursları açılacaktır. Gümüş Sokak'ta restore edilerek yabancı dil kursu olarak hizmet verecek bir yapı tespit edilmiştir.

11. Turistik alanlara yönelik bilgi amaçlı yön levhaları oluşturulacak ve gezilecek yerlerle ilgili bilgi sunan, akıllı telefon teknolojileri ile uyumlu çalışabilen kare kod haritaları hazırlanarak ilgili alanlara yerleştirilecektir.

12. Ulaşım ve trafik sorununun çözülmesi için yaya ve bisiklet yolları uygulanacaktır. Asmazlar Cad., Çelik Gülersoy Cad., Çıldır Sk., Gümüş Sk. ve Cumhuriyet Meydanı bisiklet rotası olarak belirlenmiştir. Ayrıca Hasandede, Tabakhane ve Gümüş Bölgesi'nde otopark planlaması yapılmıştır. Bu alanlarda Ceddie car, Scooter ve bisiklet kiralama olanağı sunulacaktır.

13. Kültür, sanat ve turizme yönelik kültür ve kongre merkezi, sanat galerisi, sergi mekânları, tiyatro, konser ve şenlik alanı, sinema, vb. alanlar planlanmıştır. Asmazlar Sokak ve Celalbayer Caddesi'nde bulunan ve restore edilerek tiyatro kulübü, sanat galerisi ve sergi salonu olarak işlevlendirilecek yapılar tespit edilmiştir.

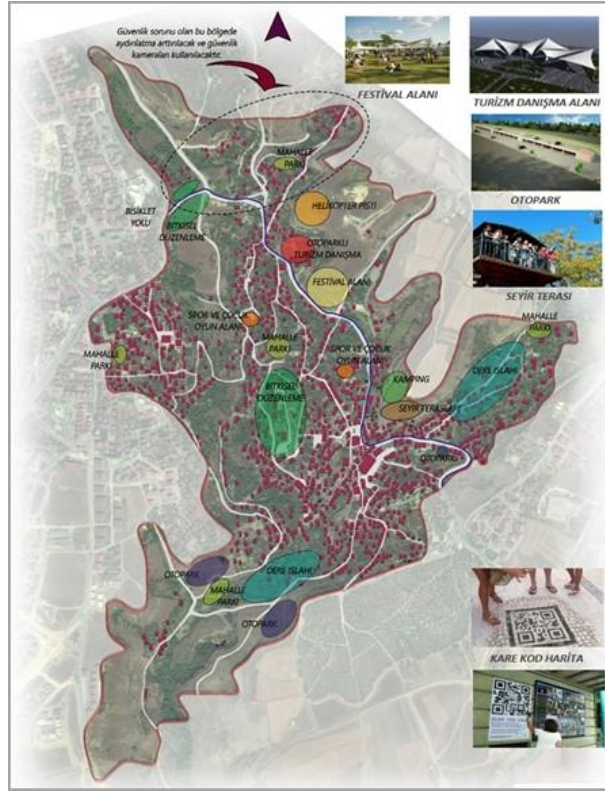
14. Kent silüetini ön plana çıkarma ve turizmi arttırma amaçlı Hasandede Bölgesi'nde seyir ve fotoğraf çekim terasları oluşturulacaktır.

15. Kentteki rekreatif faaliyetleri arttırma amaçlı Gümüş, Tabakhane ve Akçasu Bölgesi'nde dere yatağı ıslah ve rekreasyon projeleri yapılacaktır. Eski Tabakhane binası geleneksel sanatlardan olan tezhib, minyatür, ebru, kalem işi gibi sanatların öğrenilip eserlerin sergilendiği bir sanat merkezine dönüştürülecektir.

16. Halkın doğa koruma hakkında bilinçlenmesini sağlama amaçlı yetişkin ve çocuk doğa kulüpleri kurulacaktır.

17. Gümüş Deresi, Tabakhane ve üniversite arası raylı sistem projesi uygulanacaktır.

18. Tokatlı Kanyonu doğa turizmi için geliştirilecek, bu alanda atlı gezilerle kanyonun her yeri gezilebilecektir. İncekaya su kemerinden Antepoğlu Mahallesi ve Tokatlı Kanyonuna teleferik hattı yapılacaktır.



Şekil 24. Çalışma alanı turizm planlama paftası  
Figure 24. Tourism planning map of the study area



Şekil 25. Çalışma alanı yaşam durakları paftası  
Figure 25. Life stops map of the study area

19. Eski Hastane alt yolunda vadi içine bakan noktada seyir ve fotoğraf çekim terası oluşturulacaktır.

20. Safranbolu merkezi ile kristal teras arası trekking güzergahı oluşturulacaktır.

21. Safranbolu Hıdırlık Tepesi ve Bulak Köyü Mencilis Mağarası arasına teleferik hattı yapılacaktır.

22. Safranbolu'da dericilik kültürünün vurgulanması amacıyla Tabakhane Bölgesi'nde dericilik müzesi oluşturulacaktır.23. Mescit Sokak müzeler sokağı olarak düzenlenecektir. Müzelerden elde edilen gelirle yapıların restorasyon çalışmaları yapılacaktır. Bu kapsamda daha çok eğitici amaçlı oyuncakların yer aldığı oyuncak müzesi kurulacaktır. Safran kolonyası, Safran çayı, Safranlı yemeklerin hazırlandığı ve sunulduğu safran müzesi kurulacaktır. Bağlar gazozunun yapım aşamasını anlatan, makinaların minyatürlerinin yer aldığı ve üretimin 3D filmlerle gösterildiği gazoz müzesi kurulacaktır. Osmanlı İmparatorluğu döneminde kullanılan kıyafetler ve silahlar ile dönem sultanlarının balmumu heykellerinin bulunacağı Osmanlı müzesi kurulacaktır. Safranbolu lokumunun yapım aşamalarının gösterildiği ve anlatıldığı lokum müzesi kurulacaktır. Bakırcılık zanaatı ve bakır ürünleri için bakır müzesi kurulacaktır. Ahşap işçiliği ve ahşap ürünlerinin sergilenmesi için ahşap müzesi kurulacaktır.

24. Belediye bünyesinde proje yönetim birimi kurulacak ve kentin gelişimine yönelik projelerinin uzmanlarla tartışılıp görüşülerek uygulanmaları denetlenecektir.

#### 4. Sonuç

##### 4. Conclusion

Tarihi özellikleri bulunan kentlerde koruma, tarihi dokunun daha iyi algılanması, sürdürülebilir kullanımı, tarihi kent kimliğinin geliştirilmesi ve çevre sağlığının iyileştirilmesi şeklinde yapılacak peyzaj planlamaları ile mümkün olacaktır. Öneri planlama projesinin uygulanması ile Safranbolu'nun yaşam standartlarının artması, kentin tarihi dokusunun korunması ve onarılması, turizmin geliştirilmesi, halka ve turistlere yeni rekreasyon alanları oluşturulması, ekonominin canlandırılması sağlanacaktır.

İlk 5 yılda; bitkisel düzenlemeler, otopark alanları, turizm danışma merkezi, belediye proje yönetim biriminin kurulması, eğitici kurslar ve kulüpler, restorasyon işlerinin bir kısmı, çevre donatı elemanlarının yenilenmesi, bisiklet ve yürüyüş parkurları, güvenlik kameraları sistemi ve dere ıslahı rekreasyon projelerinin ilk 5 yılda tamamlanabileceği öngörülmektedir.

10 yıl içinde; restorasyon işleriyle birlikte sinema, tiyatro, kongre merkezi, sanat galerisi, sergi salonu gibi etkinlik alanları, seyir ve fotoğraflama

terasları, spor ve çocuk oyun alanları, kamping alanı ve kalan mahalle parkı projelerinin yapılması ve sokaklarda yangın musluklarının oluşturulabileceği öngörülmektedir.

15 yıl içinde; festival alanı, yangın söndürücü helikopter pisti, Gümüş Deresi, Tabakhane ve Üniversite arası raylı sistem projesi, restorasyon işlerinin tamamlanması ve tematik merkezleri gösteren kare kod turizm haritalarının hazırlanmasıyla projenin tamamlanması öngörülmektedir.

Peyzaj planlama önerileri olarak sunulan plan kararları farklı kademelerde ele alınmıştır. Safranbolu gibi uluslararası ölçekte bir marka yerleşme için önerilen ve 24 madde olarak belirtilen planlama kararlarının üst kademe, uygulama imar planı ve kentsel tasarım kademesinde ele alınabileceği düşünülmüştür.

Üst kademe ele alınacak öneriler; 1, 9, 12, 13, 15, 17, 18, 20, 21. maddelerde,

Uygulama imar planında ele alınacak öneriler; 3, 6, 7, 8, 14, 19, 22, 23, 24. maddelerde,

Kentsel tasarım kademesinde ele alınacak öneriler; 2, 4, 5, 10, 11, 16. maddelerde belirtilmiştir.

#### Yazar katkısı

##### Author contribution

Sorumlu yazar çalışmanın tamamından sorumludur.

#### Etik beyanı

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederim.”

#### Çıkar çatışması beyanı

“Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.”

#### Kaynaklar

##### References

Akdemir, Ş. B. (2009). *Kent planlamasında halkın katılımı Ankara örneği* [Master Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü].

Akın, E. (1995). *Kent planlamasında belediyelerin rolü* [Uzmanlık Tezi, Ankara Hacı Bayram Veli



- Üniversitesi, Türkiye ve Orta Doğu Amme İdaresi Enstitüsü].
- Akman, E. (2000). *Safranbolu'daki adak yerleri ve bu yerlerle ilgili inanışlar*. Net Ofset, Ankara
- Aydemir, Ş., Aydemir, S. E., Beyazlı, D. Ş., Ökten, N., Öksüz, A. M., & Sancar, C. (2004). *Kentsel alanların planlanması ve tasarımı*. Akademi Kitabevi, Trabzon
- Blogspot. (04.10.2016). <http://3.bp.blogspot.com/t5bBB0kJ1T4/163811.jpg>
- Ceran, Y. (2003). *Günümüzde çevre*. Çevre Bakanlığı Basımevi, Ankara, s.2.
- Çetinkaya, A. (1998). *Alternatif turizm türlerinin Safranbolu'da uygulanabilirliği* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü].
- Ders zamanı. (04.10.2016). <http://www.derszamani.net/kent-planlamasi-nedir-sehircilik.html>
- Evdeşifa. (05.12.2016) <http://evdesifa.com/wp-content/uploads/2015/09/kafkaslilikokum-2.jpg>
- Fidan, F. (2011). *Safranbolu'da Tabakhane bölgesi örneğinde endüstriyel alanların incelenmesi, kamusal fonksiyonlarla yeniden değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Fotograftürk. (04.10.2016). <http://www.fotografturk.com/-incekaya-sukemeri-2-safranbolu--p182648>
- Havaçekim. (04.10.2016). <http://4khavacekim.com/userfiles/slider/safranbolu>
- Işık, A. (2007). *Karabük il çevre durum raporu*, [https://silo.tips/queue/tc-evre-ve-orman-bakanl-tc-karabk-vall-l-evre-ve-orman-mdrl-karabk-l-evre-durum--4?&queue\\_id=-1&v=1648737924&u=MTkzLjI1NS45MS4xNTM=](https://silo.tips/queue/tc-evre-ve-orman-bakanl-tc-karabk-vall-l-evre-ve-orman-mdrl-karabk-l-evre-durum--4?&queue_id=-1&v=1648737924&u=MTkzLjI1NS45MS4xNTM=)
- Keleş, R. (2006). *Kentleşme politikası*. İmge Kitabevi.
- Kent planlaması. (04.10.2016) <http://www.derszamani.net/kent-planlamasi-nedir-sehircilik.html>
- Koçan, N. (2004). *Tarihi özellikleriyle Safranbolu kenti-Çarşı kesimi ve peyzaj mimarlığı açısından irdelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Nüfus. (27.09.2016). [http://www.nufusu.com/ilce/safranbolu\\_karabuk-nufusu](http://www.nufusu.com/ilce/safranbolu_karabuk-nufusu)
- Orhunbilge, N. (2000). *Örnekleme yöntemleri ve hipotez testleri*. Avcıol Yayınları.
- Safranbolu. (04.10.2016). <http://www.batuta.com.tr/sayfa.php?id=8>
- Safranbolu Belediyesi. (2011). *Safranbolu turizm rehberi*. <http://safranbolu.bel.tr>
- Safranbolu Belediyesi. (05.12.2016) <http://www.safranbolu-bld.gov.tr/safranbolu/safranbolunun-tarihcesi-245>
- Safranbolu üçyüzaltmış. (04.10.2016). <http://www.360safranbolu.com/fotograf-galerisi>
- Tatildeyim. (04.10.2016). <http://www.tatildeyim.com>
- Yazgan, M. E. (1979). *Safranbolu Kenti ve yakın çevresi peyzajının korunması ve geliştirilmesi üzerine bir araştırma* [Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

## Ponza ile bakır ve kurşun iyonlarının adsorpsiyon karakteristikleri

### *Adsorption characteristics of copper and lead ions with pumice*

Zümra BAKICI TANAYDIN<sup>\*1,a</sup>, Mehmet Kayra TANAYDIN<sup>2,b</sup>, Muharrem İNCE<sup>2,c</sup> Nizamettin DEMİRKIRAN<sup>3,d</sup>

<sup>1</sup>Munzur Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimari Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, 62000, Tunceli

<sup>2</sup>Munzur Üniversitesi, Tunceli MYO, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojisi Bölümü, 62000, Tunceli

<sup>3</sup>İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 44280, Malatya

• Geliş tarihi / Received: 01.10.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 26.01.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 19.02.2022

#### Öz

Bu çalışmada, kesikli sistemde, ponza kullanılarak çözeltilerden Cu(II) ve Pb(II) iyonlarının uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Adsorban miktarı etkisi (0.1-0.5g), Cu(II) ve Pb(II) iyon çözeltilerinin derişim etkisi (Cu(II) için; 3.2-31.8 ppm, Pb(II) için; 10.2-103.6 ppm), çözeltilerin pH etkisi (Cu(II) için 3-6.1 (doğal pH), Pb(II) için 3-5.25 (doğal pH)) gibi değişken parametrelerin etkileri incelenmiştir. Adsorban miktarının 0.4 g, çözelti iyon derişiminin 6.4 ppm ve pH değerinin 6.1 olduğu optimum şartlarda %91 bakır giderim verimi elde edilirken adsorban miktarının 0.4 g, çözelti iyon derişiminin 20.7 ppm ve pH değerinin 5.2 olduğu optimum şartlarda %97.7 kurşun giderim verimi elde edilmiştir. Deneysel olarak bulunan adsorpsiyon verilerine Langmuir, Freundlich, Temkin ve Harkins-Jura izoterm modelleri uygulanarak modellenmiş ve izoterm sabitleri hesaplanmıştır. Bakır ve kurşun iyonlarının adsorpsiyonunda Freundlich izoterm modeli deney verilerine en uygun model olarak belirlenmiştir. Bakır için ponzanın maksimum adsorplama kapasitesi 2.55 mg g<sup>-1</sup>, kurşun için bu değer 10.28 mg g<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon kinetiklerinin yalnızca ikinci mertebeden kinetik modeline daha uyumlu olduğu belirlenmiştir. Farklı sıcaklıklarda standart serbest enerji değişimi ( $\Delta G^\circ$ ), entalpi ( $\Delta H^\circ$ ) ve entropi ( $\Delta S^\circ$ ) değerleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar, diğer adsorbanlarla karşılaştırıldığında ponzanın sulu çözeltilerden ağır metallerin gideriminde etkin, ekonomik ve alternatif bir adsorban malzemesi olabileceğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Adsorpsiyon, Cu (II), Pb (II), Ponza

#### Abstract

In this study, it was aimed to remove Cu(II) and Pb(II) ions from solutions using pumice in batch system. Effect of adsorbent amount (0.1-0.5g), effect of concentration of Cu(II) and Pb(II) ion solutions (for Cu(II); 3.2-31.8 ppm, for Pb(II); 10.2-103.6 ppm), pH effect of solutions The effects of variable parameters such as 3-6.1 (natural pH) for Cu(II), 3-5.25 (natural pH) for Pb(II) were investigated. While 91% copper removal efficiency was obtained under optimum conditions where adsorbent amount was 0.4 g, solution ion concentration was 6.4 ppm and pH value was 6.1, 97.7% lead removal efficiency was obtained under optimum conditions where adsorbent amount was 0.4 g, solution ion concentration was 20.7 ppm and pH value was 5.2. The experimentally found adsorption data were modeled by applying Langmuir, Freundlich, Temkin and Harkins-Jura isotherm models, and the isotherm constants were calculated. In the adsorption of copper and lead ions, the Freundlich isotherm model was determined as the most suitable model for the experimental data. The maximum adsorption capacity of pumice was found to be 2.55 mg g<sup>-1</sup> for copper and 10.28 mg g<sup>-1</sup> for lead. It was determined that the adsorption kinetics were more compatible with the pseudo-second-order kinetic model. Standard free energy change ( $\Delta G^\circ$ ), enthalpy ( $\Delta H^\circ$ ) and entropy ( $\Delta S^\circ$ ) values were determined at different temperatures. The results obtained in the study showed that pumice can be an effective, economical and alternative adsorbent material in the removal of heavy metals from aqueous solutions when compared with other adsorbents.

**Keywords:** Adsorption, Cu(II), Pb(II), Pumice

\*a Zümra BAKICI TANAYDIN; chechemicalengineer@gmail.com, Tel:(0428) 213 18 15, orcid.org/0000-0003-0376-0956

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0003-1696-0754

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0003-2347-1748

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0001-9021-2477

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Dünya üzerindeki insan nüfusunun artması ve yoğun endüstrileşmeden dolayı çevresel açıdan pek çok problem ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin başında atık sularda ve toprakta biriken bakır, kurşun, cıva ve nikel gibi ağır metal iyonlarının varlığıdır (Lin & Juang, 2002; Tanaydın vd., 2020; Turan & Ozgonenel, 2013). Bu tip ağır metal iyonlarının canlı hücrelere girdiği zaman ciddi sağlık problemlerine yol açtığı bilinmektedir (Öztürk & Şahan, 2015). Çevre ve insan sağlığı için tehlikeli olan bu metal iyonlarının sulu çözeltilerden uzaklaştırılması amacıyla ters ozmos, iyon değişimi, kimyasal çöktürme, adsorpsiyon gibi birçok yöntem uygulanmaktadır (El-Eswed vd., 2012). Bu yöntemler içerisinde adsorpsiyon prosesi, kirlilik oluşturuvcu türlerin oldukça yüksek bir verimle giderilebilmesi, kolay uygulanabilmesi, pahalı cihazlar gerektirmemesi ve adsorban olarak farklı maddelerin kullanılabilmesine imkan tanimasından dolayı, atık sulardan metal iyonlarının ve boyar maddelerin uzaklaştırılmasında yaygın bir şekilde uygulanmaktadır (Öztürk & Şahan, 2015). Adsorpsiyon prosesi karmaşık bir proses olup çözeltinin pH'sı ve iyonik gücü, adsorbanın yapısı, adsorplanacak maddenin yapısı ve derişimi bu prosesi yakından etkilemektedir (Ikhsan vd., 1999; Williams, 2014).

Endüstriyel atık sularda bakır iyonları metal kaplama, soğutma suyu sistemleri ve elektrokaplama gibi uygulamalar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu tip endüstriyel işlemler neticesinde oluşan atık sulardaki bakır derişimi 20-2200 mg L<sup>-1</sup> arasında değişebilmektedir. ABD Çevre Koruma Ajansı (US EPA) atık sularda müsaade edilebilir bakır iyonları derişimini maksimum 1.3 mg L<sup>-1</sup> olarak belirtmiştir. Dolayısıyla endüstriyel atık sulardaki bakır derişimi çevre koruma amacıyla belirtilen değerin altında tutulmalıdır (Hasan vd., 2008).

Kurşun insan, hayvan ve bitkiler için zararlı bir ağır metal olup, kemikli dokularda kalsiyum yerine geçerek vücutta birikir (Irani vd., 2011). Kurşun zehirlenmesi insanlarda anemi, hipertansiyon, kabızlık, bulantı, kusma, gelişim bozuklukları ve zihinsel yetersizlik gibi birçok ciddi rahatsızlıklara sebep olduğu gibi bitkilerin ve hayvanların ölümüne de neden olabilir. Kurşun kirliliği depolama pilleri, boya pigmentleri, radyoaktivite kalkanları ve kablo kaplamaları ile gerçekleşmektedir. Endüstriyel atık sularda kurşun iyonları kaynağına bağlı olarak 200-500 mg L<sup>-1</sup>

arasında değişebilmektedir. Uluslararası Sağlık Örgütü tarafından (WHO) içme suyunda izin verilen maksimum kurşun miktarının 0.01 mg L<sup>-1</sup>'yi geçmemesi belirtilmiştir (Ghassabzadeh vd., 2010; Irani vd., 2011; Vivian vd., 2017).

Ağır metal gideriminde hindistan cevizi kabuğu, üzüm atığı, badem kabukları, doğal killer, kaktüs ve çam yaprakları, pamuk sapı, mısır koçanı, kül-kömür karışımı, çay atıkları, silikajeller gibi malzemeler adsorban olarak kullanılabilir (Etaş vd., 2010; Madrakian vd., 2012; Parlayıcı & Altun, 2018). Doğal kil mineralleri, doğada kolayca bulunmaları ve büyük reaktif yüzey alanlarından dolayı topraklardaki primer (birincil) emici yüzeylerdir (Puls, 1986). Sahip oldukları sabit negatif yüzey yükleri sebebiyle toprakta ve suda bulunan ağır metal iyonlarını adsorplayabilirler (Hızal vd., 2012). Yüksek yüzey alanına sahip olan ve iyon yükü fazla olan bu kil mineralleri adsorpsiyon çalışmalarında alternatif adsorbentler olarak kullanılabilirler.

Ponza hafif ve gözenekli yapıya sahip bir volkanik kildir (Akbal, 2005). Bu tip killer literatürde endüstriyel atık çözeltilerden bakır, kobalt, kurşun, kadmiyum, nikel vb. ağır metal iyonlarının giderilmesinde oldukça fazla kullanılmıştır. Kimyasal bileşimi; %60-70 SiO<sub>2</sub>, %13-15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve bunun yanında az miktarda Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O ve eser miktarda TiO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> içerir (Tözüm, 2009). Türkiye toplam ponza rezervleri bakımından dünyada ikinci sırada bulunmaktadır. Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgeleri ponza rezervleri bakımından zengindir. Isparta, Nevşehir, Kayseri, Van, Iğdır, Bitlis, Kars, Ağrı ve İzmir'de yoğun ponza yatakları bulunmaktadır (Yanık, 2007). Ponza, dünyada başlıca inşaat, kimya ve tarım sektörlerinde geniş bir alanda kullanılmaktadır. Türkiye'de ise çoğunlukla kot taşlama olarak bilinen kot giysilerin ağartılmasında uygulama alanı bulmaktadır (Benek, 2015).

Literatürde doğal killerin ağır metal gideriminde kullanılabilirliği üzerine çalışmalar mevcuttur (Öztürk & Şahan, 2015; Şahan & Öztürk, 2014; Kul vd., 2019).

Bu çalışmanın amacı mevcut çalışmalardan farklı olarak ponza üzerine bakır ve kurşun iyonlarının adsorpsiyon özelliklerini incelemektir. Bakır ve kurşun iyonlarının adsorpsiyonu üzerinde sulu çözeltilerin adsorban miktarı, başlangıç pH'sı, bakır ve kurşun iyonlarının çözelti derişimlerinin etkileri ve temas süresi ile pH etkisi araştırılmıştır. Adsorpsiyon dört farklı izoterm modeline uygulanmış ve adsorpsiyon sabitleri

hesaplanmıştır. Adsorpsiyon olayının kinetiği ve termodinamiği detaylı olarak incelenmiştir. Bu çalışma, farklı çalışma koşulları altında (adsorban miktarı, pH, sıcaklık gibi) bakır (II) ve kurşun (II) iyonlarının sulu ortamlardan etkin bir şekilde uzaklaştırılması için Bitlis yöresinden temin edilen düşük maliyetli ve çevre dostu, işlem görmemiş ponzanın giderim kapasitesinin araştırılmasıdır.

## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

#### 2.1. Adsorban

##### 2.1. Adsorbent

Deneyleerde kullanılan ponza kili Türkiye’de Bitlis yöresinden temin edilmiştir. Safsızlıklarından arındırmak için su ile birkaç defa yıkanarak oda koşullarında 1 yıl kurutulmuş ve agat havanda öğütülmüştür. -100 mesh boyutundan altında kalan kısım adsorpsiyon deneylerinde kullanılmıştır. Adsorplama mekanizmalarının belirlenmesi amacıyla adsorpsiyon öncesi ve adsorpsiyon sonrası ponza kilinin 400 ve 4000  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyu aralığında FTIR-ATR (Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrometresi- Zayıflatılmış Toplam Yansıma) analizi JASKO 6700 marka cihaz ile yapılmıştır. Adsorban olarak kullanılan ponzanın yüzey alanı BET (Brunauer-Emmet-Teller) (Micromeritics 3 Flex 3 portlu) yüzey alanı ölçüm cihazı ile yapılmıştır.

#### 2.2. Yöntem

##### 2.2. Method

Cu (II) ve Pb (II) iyonlarının sulu çözeltileri  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ’ın (300 ppm), (Merck, %98) ve  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ’in (1000 ppm) stok çözeltileri ile hazırlanmıştır. Sulu çözeltileri hazırlamak için ultra saf su (Elga, PURELAB flex 18.2  $\mu\Omega\text{cm}^{-1}$  dirençli) kullanılmıştır. Kesikli denemeler, Cu(II) veya Pb(II) çözeltilerine bilinen miktarda adsorban ilavesi yapılarak, 150 mL’lik beherlerde, oda sıcaklığında ( $25 \pm 1$  °C) ve 200 devir/dakika (rpm) karıştırma hızında (WiseStir MSH-20D) gerçekleştirilmiştir. Farklı çözelti derişimleri ve farklı temas süreleri için gerçekleştirilen deneylerde başlangıç pH ayarlamaları için 0.1M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Merck, %98) ve 0.1M NaOH (Merck,  $\geq$ %99) kullanılmıştır. Adsorpsiyon işleminin sonunda çözeltide kalan metal derişimleri atomik adsorpsiyon spektrometre (AAS) (Perkin Elmer Analyst 800) yardımıyla ölçülmüştür. Adsorpsiyon verimi (%) ve kapasitesi ( $q_e$ ,  $\text{mg g}^{-1}$ ) Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak belirlenmiştir.

$$\% \text{ Adsorplanan Cu, Pb} = \left[ \frac{c_i - c_t}{c_t} \right] * 100 \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(c_i - c_t) * V}{M} \quad (2)$$

$c_i$  = Adsorpsiyon öncesi çözeltideki başlangıç iyon derişimi ( $\text{mg L}^{-1}$ )

$c_t$  = Adsorpsiyon sonunda çözeltideki iyon derişimi ( $\text{mg L}^{-1}$ )

M=Adsorban miktarı (g)

V=Çözelti hacmi (L)

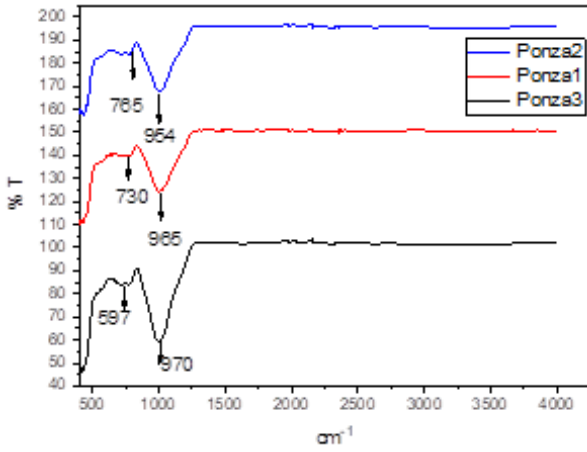
## 3. Bulgular

### 3. Results

#### 3.1. FT-IR analiz sonucu

##### 3.1. FT-IR analysis result

FTIR; karboksil, karbonil, hidroksil, amino ve diğer fonksiyonel grupların spektrumları ile ikili ve üçlü bağların spektrumları hakkında bilgi veren analiz yöntemidir (Harman & Genisoğlu, 2016). FTIR spektrometresi ile adsorpsiyon öncesi ve adsorpsiyon sonrasında ponza üzerinde 400 ile 4000  $\text{cm}^{-1}$  arası dalga boylarında genel tarama yapılmıştır. Elde edilen spektrumlar Şekil 1’de gösterilmiştir. Ponza1 bakır adsorpsiyonu sonrasında, ponza2 kurşun adsorpsiyonu sonrasında ve ponza3 adsorpsiyon öncesini temsil etmektedir. Ponza3’ün FTIR spektrumundaki 597 $\text{cm}^{-1}$ ’de görünen piki, yapıyı oluşturan amorf kuvarsın Si-O eğilme mukavemet titreşimlerinden kaynaklanmış olabilirken, 970  $\text{cm}^{-1}$ ’de görünen güçlü pik ise Si-O gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmanın FTIR spektrumları ile literatürde verilen çalışmalar arasında bazı farklılıklar mevcuttur. Literatür, suyun OH gerilme titreşimlerinden kaynaklanan 3400  $\text{cm}^{-1}$ ’de civarındaki bir pik olduğunu ileri sürmektedir. Ancak kullanılan ponzanın fiziksel ve kimyasal farklılıklarından ve farklı tane boyutlarında kullanılmalarından kaynaklanabilir (Ersoy vd., 2010). Ponza 1 ve ponza 2’de görülen sırasıyla 965 ve 954  $\text{cm}^{-1}$  pikleri Si-O gerilme titreşimleri ile uyum içindeyken, 730 ve 765  $\text{cm}^{-1}$  pikler metal-O bağlarına atfedilir (Viyajakamur vd., 2012; Harman & Genisoğlu, 2016).



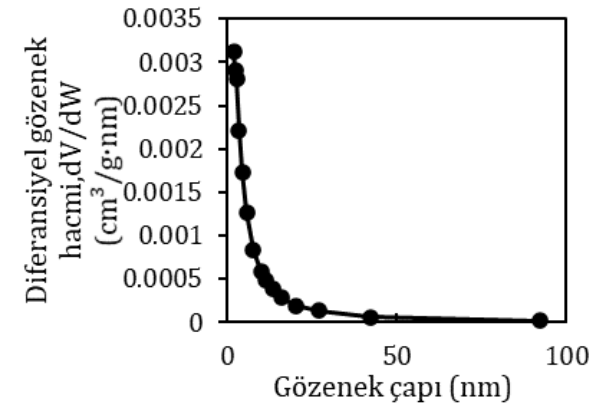
**Şekil 1.** Ponza1, ponza2 ve ponza3'ün FT-IR spektrumları

**Figure 1.** FT-IR spectra of pumice1 (ponza 1), pumice2 (ponza 2) and pumice3 (ponza 3)

**Tablo 1.** Ponzanın BET cihazı verilerinden elde edilen yüzey alan değerleri  
**Table 1.** Surface area values of pumice obtained from BET device data

Özellikler	
Tek noktalı Yüzey Alanı, ( $m^2 g^{-1}$ )	6.83
BET Yüzey Alanı, ( $m^2 g^{-1}$ )	26.44
BJH Desorpsiyon Yüzey Alanı, ( $m^2 g^{-1}$ )	15.64
Por Hacmi, ( $cm^3 g^{-1}$ )	0.024
Ponzanın Ortalama Gözenek Çapı, (nm)	6.0596

Ponzanın gözenek çapı ve gözenek hacim grafiği, gözeneklerin bağıl basınçta sıvı ile doldurulduğu varsayımı temelinde dayanan BJH desorpsiyon metodu ile belirlenmiştir. Gözenek çapı-diferansiyel gözenek hacim grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Buna göre ponza adsorbanında daha çok mezogözenekli yapılar bulunmaktadır. Mezogözenekli yapılar ponzada 2-20 nm arasında dağılmışlardır. Genel olarak 2 nm'den küçük gözenekler mikro gözenek, 2 nm < gözenek genişliği < 50 nm mezo gözenek ve 50 nm'den büyük olanlar makro gözenekler diye adlandırılırlar (Phuong vd, 2016). Tablo 1'e göre ponzanın ortalama gözenek çapı 6.0596 nm olması bu durumu desteklemektedir.



**Şekil 2.** Ponzanın gözenek çapı- diferansiyel gözenek hacim grafiği

**Figure 2.** Pore diameter-differential pore volume graph of pumice

### 3.3. Optimum adsorban miktarının belirlenmesi

3.3. Determination of the optimum amount of adsorbent

Adsorpsiyon reaksiyonuna adsorban miktarının etkisi, iyonların farklı derişimleri için farklı miktarlarda katı kullanılarak incelenmiştir. Adsorpsiyon prosesi iyon derişimine ve kullanılan adsorban miktarına yakından bağılı olduğu için, bu

deneylerde her bir iyon derişiminde uygun adsorban miktarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Cu(II) iyonlarının adsorpsiyonu için 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ve 0.5 g ponza kullanılmışken Pb(II) iyonları için 0.2, 0.3, 0.4 ve 0.5 g ponza kullanılmıştır. Çözelti pH değerleri, ilgili iyonun çalışılan başlangıç derişimindeki doğal pH'sı olarak alınmıştır. Farklı derişimlerde bakır ve kurşun iyonları içeren çözeltilerin ölçülen pH (serbest pH) değerleri sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir. Sulu çözeltilerin hacmi 50 mL, karıştırma hızı 200 rpm ve temas süresi 24 saat olarak sabit alınmıştır. Şekil 3(a) ve (b)'de, farklı çözelti derişimindeki ponza miktarı etkisinin sonuçları gösterilmiştir. Buna göre, eşit ponza miktarında çözelti derişimin artmasıyla adsorbe edilen bakır ve kurşun miktarı azalmıştır. 0.5g ponza kullanılarak 24 saat süren kesikli adsorpsiyon deneylerinde bakır için 3.2 ppm, 6.4 ppm, 19.1 ppm, 31.8 ppm ve kurşun için 10.2 ppm, 20.7 ppm, 62.2 ppm, 103.6 ppm başlangıç derişimlerinde adsorplanan bakır ve kurşun yüzdeleri sırasıyla %99.5, %99, %80, %70.4 ve %99.5, %99, %97.8 ve %79 olarak tespit edilmiştir. Şekil 3(a) ve (b)'den görüldüğü üzere gerek bakır gerekse de kurşun iyonlarının adsorplanmasında her bir derişim için 0.4 g ve 0.5 g katı miktarı ile elde edilen sonuçların yakın

olduğu gözlenmiştir. 0.4 g ponza kullanılarak yapılan deneylerde 24 saat adsorpsiyon süresi sonunda bakır için 3.2 ppm, 6.4 ppm, 19.1 ppm, 31.8 ppm ve kurşun için 10.2 ppm, 20.7 ppm, 62.2 ppm, 103.6 ppm derişimleri için adsorpsiyon veriminin sırayla %99.5, %93, %73, %62.5 ve %99, %98, %95, %72'dir. Bu nedenle adsorpsiyon verimini etkileyen diğer bağımsız değişkenler incelenirken ponza miktarı 0.4 g olarak belirlenmiştir.

**Tablo 2.** Bakır çözeltisinin farklı derişimlerdeki serbest pH değerleri

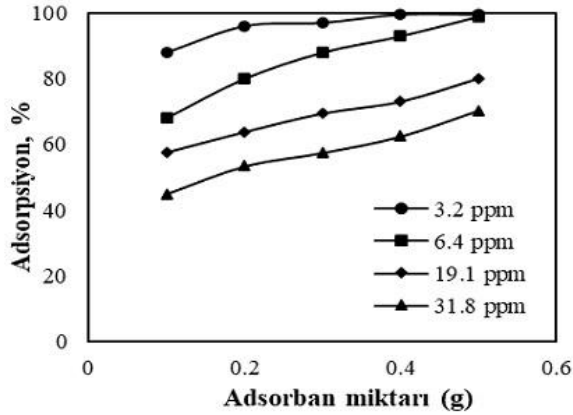
**Table 2.** Free pH values of copper solution at different concentrations

Derişim, ppm	3.2	6.4	19.1	31.8
pH	6.3	6.1	5.96	5.85

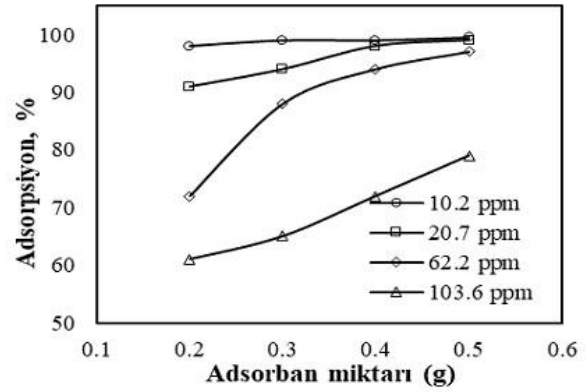
**Tablo 3.** Kurşun çözeltisinin farklı derişimlerdeki serbest pH değerleri

**Table 3.** Free pH values of lead solution at different concentrations

Derişim, ppm	10.2	20.7	62.2	103.6
pH	5.52	5.25	5.15	5.1



(a)



(b)

**Şekil 3.** (a) Bakır (b) kurşun iyonlarının adsorpsiyonunda adsorban miktarının etkisi (Karıştırma hızı 200 rpm, temas süresi 24 h ve serbest pH değerleri)

**Figure 3.** Effect of adsorbent amount on adoption of (a) copper (b)lead ions (Stirring speed 200 rpm, contact time 24h, and values of free pH)

### 3.4. Optimum pH değerinin belirlenmesi

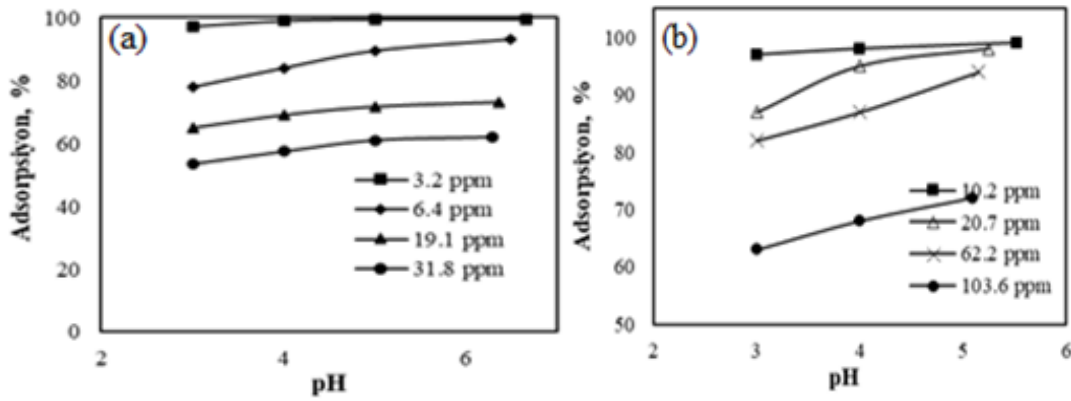
#### 3.4. Determination of the optimum pH value

Farklı çözelti derişimlerinde farklı başlangıç pH değerlerinde adsorpsiyon değişimini görmek ve her bir derişim değeri için uygun bir pH'ın etkisinin belirlenmesi amacıyla bazı deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde adsorban

miktarı 0.4 g, çözelti hacmi 50 mL, karıştırma hızı 200 rpm ve temas süresi 24 saat olarak alınmıştır. Şekil 4 (a) ve (b)'de farklı çözelti derişimlerinde uygun pH'nın belirlenmesi için gerçekleştirilen deneylerin sonuçları gösterilmiştir. Buna göre aynı pH'da çözelti konsantrasyonunun artmasıyla adsorplanan bakır ve kurşun miktarı azalmıştır. Başka bir ifadeyle iyon derişimi aynı olduğu zaman

başlangıç pH değerinin artmasıyla adsorpsiyon veriminin arttığı görülmektedir. Bütün başlangıç derişimleri için en yüksek bakır ve kurşun giderimi çözeltilerin serbest pH değerlerinde yapılan deneylerden elde edilmiştir. Bakır için 3.2 ppm (pH=6.3), 6.4 ppm (pH=6.1), 19.1 ppm (pH=5.96) ve 31.8 ppm'lik (pH=5.85) çözeltilerle yapılan deneylerin verimleri sırayla %99.5, %93, %73 ve %62.5'dir. Kurşun derişiminin 10.2 ppm (pH=5.52), 20.7 ppm (pH=5.25), 62.2 ppm (pH=5.15) ve 103.6 ppm (pH=5.1) olduğu deneylerde sırasıyla %99, %98, %95 ve %72'dir. pH'nın düşük olduğu değerlerde, yüzeydeki pozitif yük artışından  $\text{Cu}^{2+}$  ve  $\text{Pb}^{2+}$  iyonları ile yüzey alanındaki  $\text{Si-OH}^{2+}$  arasında elektrostatik itme kuvveti artar ve adsorpsiyon düşük olur (Tosun vd., 2016). pH'nın yüksek olduğu değerlerde yüzeydeki pozitif yükün azalmasından dolayı  $\text{Cu}^{2+}$  ve  $\text{Pb}^{2+}$  iyonları ile yüzey alanındaki pozitif yük arasında

çekme kuvveti artar, bundan dolayı adsorpsiyon verimi yükselir (Irani vd, 2011). Daha fazla pH artışı ile metal iyonları ve protonlar arasındaki rekabet artarak, kimyasal çökelme olasılığı olabilir (Sharma vd., 1991). Ayrıca ponzanın sıfır yük noktası ( $\text{pH}_{\text{pzc}}$ ) Khan vd, (2015) yöntemi izlenerek değeri 6.5 olarak belirlenmiştir. Buna göre hem bakır (II) (pH=6.1) hem (Pb (II) (pH=5.2) iyonları için  $\text{pH} < \text{pH}_{\text{pzc}}$  olduğundan dolayı ponza adsorbentinin yüzeyi pozitif yüklenir. Cu (II) ve Pb (II) iyonları kolombik kuvvet ile adsorpsiyon yüzeyine tutunurlar (Halas vd., 2017). Ponza kili serbest pH'larında sulu çözeltilerden adsorpsiyonunda Pb(II) iyonu için Cu(II)iyonuna göre daha seçicidir. Adsorpsiyon verimini etkileyen diğer bağımsız değişkenler incelenirken pH değeri çözeltilerin serbest pH'ları olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. (a) Bakır (b) kurşun iyonlarının adsorpsiyonunda optimum pH grafiği (Karıştırma hızı 200 rpm, temas süresi 24 h ve adsorbent miktarı 0.4 g)

Figure 4. (a) Copper (b) lead ions optimum pH plot for adsorption (Stirring speed 200 rpm, contact time 24h, and adsorbent amount 0.4g)

### 3.5. Çözelti derişiminin etkisi

#### 3.5. Effect of solution concentration

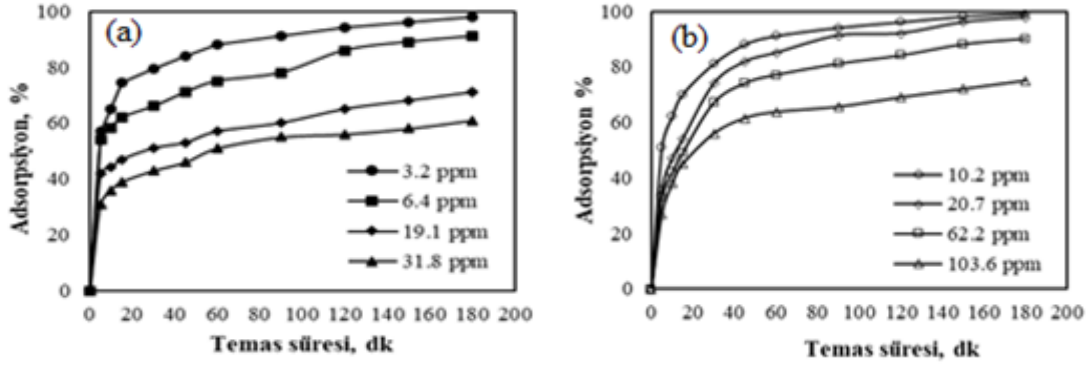
Bakır ve kurşun iyonlarının ponzaya adsorpsiyonunda metal derişimleri sırayla 3.2-31.8 ppm ve 10.2-103.6 ppm aralığında çalışılmıştır. Deneysel şartlar; çözelti hacmi (50mL), karıştırma hızı (200rpm), ponza miktarı (0.4g) ve başlangıç pH değeri (Tablo 2 ve Tablo 3'teki serbest pH'lar) sabit alınmıştır. Şekil 5 (a) ve (b)'de bu deneylerin grafiklerinden görüleceği gibi temas süresinin artmasıyla adsorbe olan bakır ve kurşunun adsorpsiyon veriminin arttığı görülmüştür. Başlangıç derişimlerinin tümü için ilk 15 dakika temas süresi sonunda adsorpsiyonun hızlı gerçekleştiği ve daha sonra yavaş gerçekleştiği gözlenmektedir. Yine bu şekillerden, 90 dakika temas süresinden sonra dengeye ulaşıldığı söylenebilir. Bakır iyonlarının başlangıç derişimi

3.2 ppm, 6.4 ppm, 19.1 ppm ve 31.8 ppm olduğunda 15 dakikalık temas süresi sonunda sırasıyla %74.3, %62, %47 ve %39'luk bir adsorpsiyon verimine ulaşılmışken, 180 dakikalık işlem süresi sonunda ise aynı başlangıç derişimleri için sırasıyla %98, %91 %71 ve %61'lik bir adsorpsiyon verimine ulaşılmıştır. Kurşun iyonlarının adsorpsiyonu için yapılan deneylerde ise 10.2 ppm, 20.7 ppm, 62.2 ppm ve 103.6 ppm başlangıç derişimleri için 15 dakikalık temas süresi sonunda kurşun iyonlarının sırasıyla %70, %54, %51 ve %45'i adsorplanmışken 180 dakikalık süreyle yapılan deneyler sonucunda kurşun iyonlarının aynı başlangıç derişimleri için sırasıyla %99, %97.7 %92 ve %75'lik bir verim elde edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda Pb(II) için elde edilen adsorpsiyon verimlerinin Cu(II) için elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Kurşun iyonları bakır iyonlarına göre daha yüksek afiniteye sahip olduğundan Si-OH<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yapısına sahip olan ponzaya daha iyi bağlanması bakır iyonuna göre daha yüksek adsorpsiyon

verimi sağlamıştır (Chotpantararat, 2011). Bundan sonra yapılan deneylerde Cu(II) derişimi için 6.4 ppm ve Pb(II) derişimi ise 20.7 ppm olarak seçilmiştir.



**Şekil 5.** (a) Bakır (b) kurşun adsorpsiyonunda çözelti derişiminin etkisi (Karıştırma hızı 200 rpm, adsorban miktarı 0.4 g ve serbest pH değerleri)

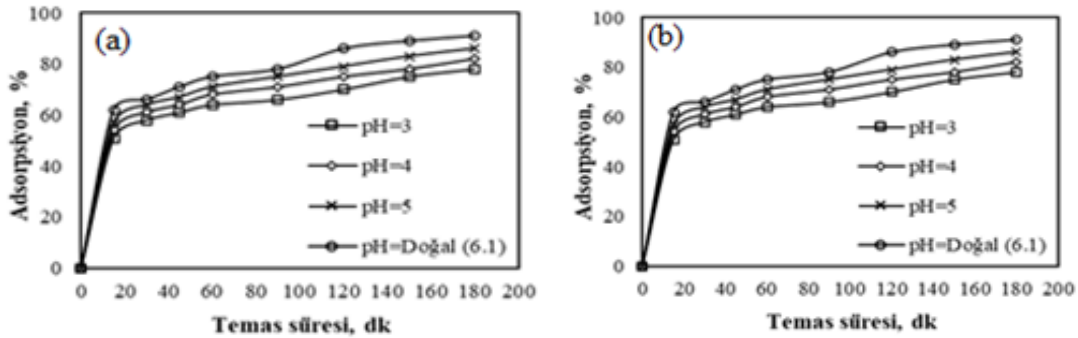
**Figure 5.** (a) Effect of solution concentration on copper (b) lead adsorption (Stirring speed 200 rpm, adsorbent amount 0.4g, and values of free pH)

### 3.6. Farklı temas süreleri için pH etkisi

#### 3.6. pH effect for different contact times

Farklı temas sürelerinde sulu çözeltilerden bakır ve kurşun iyonlarının adsorpsiyonu üzerine pH'nın etkisini incelemek amacıyla bir seri deney yapılmıştır. Yapılan bu deneylerde sulu çözelti hacmi, karıştırma hızı ve adsorban miktarı sırasıyla 50 mL, 200 rpm ve 0.4 g değerlerinde sabit alınmışken temas süresi 0-180 dakika aralığında değiştirilmiştir. Başlangıç bakır ve kurşun derişimleri sırayla 6.4 ppm ve 20.7 ppm olarak alınmıştır. Bakır adsorpsiyonunda pH değerleri 3, 4, 5 ve 6.1 (serbest pH) iken kurşun adsorpsiyonu için yapılan deneylerde pH değerleri 3, 4, 5.25

(serbest pH) olarak alınmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 6 (a) ve (b)'de gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği gibi pH değerinin artmasıyla iyonların çökmesi söz konusu olabileceğinden doğal pH değerinden yüksek pH değerlerinde deneyler yapılmamıştır. Çözelti pH'sı azaldıkça daha asidik bir çözelti oluşur. Bu durumda ponza yüzeyinde hidrojen iyonlarının daha fazla adsorplanması söz konusu olabilir ve pozitif yüklü bakır ve kurşun iyonlarının adsorplanma veriminin azalmasına sebep olabilir. Her iki iyonun doğal pH değerlerinde yapılan deneylerde 180 dakika temas süresi sonunda bakırın %91'inin ve kurşunun %97.7'sinin adsorplandığı belirlenmiştir.



**Şekil 6.** (a) Bakır (b) kurşun adsorpsiyonunda pH'nın etkisi

(Karıştırma hızı 200 rpm, temas süresi 180 dk ve adsorban miktarı 0.4 g)

**Figure 6.** Effect of pH on copper (b) lead adsorption

(Stirring speed 200 rpm, contact time 180 minute, and adsorbent amount 0.4g)

### 3.7. Adsorpsiyon izotermi

#### 3.7. Adsorption isotherms

Sulu ortamlarda adsorban ve adsorplanan arasındaki etkileşimleri ifade eden ve birçoğu ampirik olan izoterm modelleri geliştirilmiştir. Bu



izoterm modellerinden Langmuir (Ismail vd., 2014; Tosun vd, 2016), Freundlich (Karapınar & Donat, 2009), Temkin (Kar vd., 2019; Okumuş & Doğan, 2019) ve Harkins-Jura (Kar vd., 2019) izoterm modelleri bu çalışmada uygulanmıştır.

Langmuir izoterm denklemi;

$$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} * K_L} + \frac{c_e}{q_{max}} \quad (3)$$

$c_e$ = Adsorpsiyon sonrası çözeltide adsorplanmamış maddenin denge derişimi (mg L<sup>-1</sup>)

$q_e$ = Adsorbanın birim ağırlığında adsorplanan madde miktarı (mg g<sup>-1</sup>)

$q_{max}$ = Tek tabakalı adsorban kapasitesi (mg g<sup>-1</sup>)

$K_L$ = Langmuir izoterm sabiti (L mg<sup>-1</sup>)

Freundlich izoterm denklemi;

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} * \log c_e \quad (4)$$

$c_e$ = Adsorpsiyon sonrası çözeltide adsorplanmamış maddenin denge derişimi (mg L<sup>-1</sup>)

$q_e$ = Adsorbanın birim ağırlığında adsorplanan madde miktarı (mg g<sup>-1</sup>)

$K_F$ = Freundlich sabiti (mg g<sup>-1</sup>) (L mg<sup>-1</sup>)<sup>1/n</sup>

$n$ = Sabit

Temkin izoterm denklemi;

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln K_T + \frac{RT}{b} \ln C_e \quad (5)$$

$K_T$ = Denge bağlanma sabiti (L g<sup>-1</sup>)

T= Mutlak sıcaklık (K)

R= Genel gaz sabiti, 8.314 (J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)

b= Temkin izoterm sabitidir.

Harkins-Jura izoterm denklemi;

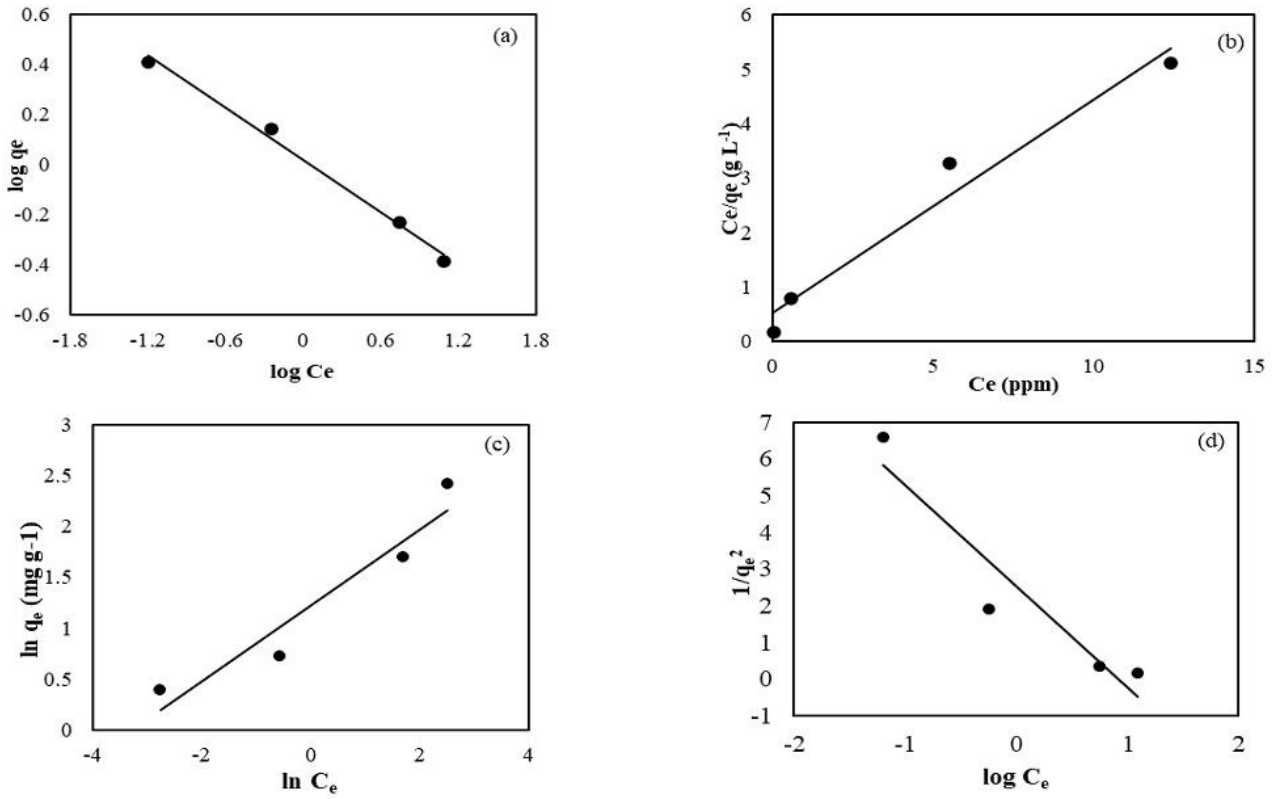
$$\frac{1}{q_e^2} = \left(\frac{B_H}{A_H}\right) - \left(\frac{1}{A_H}\right) \log C_e \quad (6)$$

$B_H, A_H$ = Harkins-Jura izoterm sabitleridir.

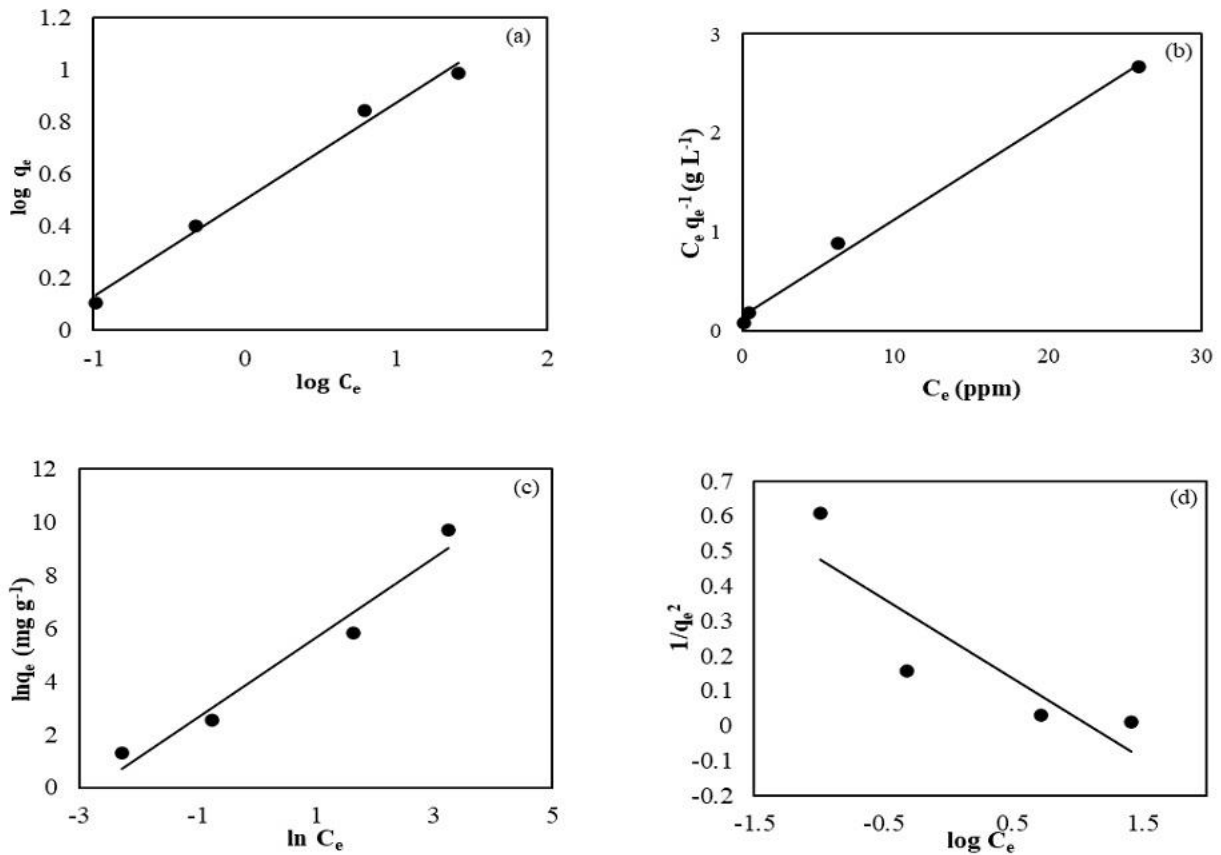
Ponza ile bakır ve kurşun iyonlarının adsorpsiyonunun, Langmuir, Freundlich, Temkin ve Harkins-Jura izotermine uygunluğunu görmek için sırasıyla Eşitlik (3)'ten  $c_e q_e^{-1}$ 'ye karşı  $c_e$ , Eşitlik (4)'ten  $\log(q_e)$ 'ye karşı  $\log(c_e)$ , Eşitlik 5'ten  $q_e$ 'ye karşı  $\ln c_e$  ve Eşitlik 6'dan  $1/q_e^2$ 'ye karşı  $\log c_e$  grafikleri oluşturulmuştur. Bakırın Freundlich modeli için yüksek regresyon katsayılı ( $R^2=0,993$ ) doğru elde edilmiştir ve Şekil 7(a)'da gösterilmiştir. Langmuir, Temkin ve Harkins-Jura modelleri için sırasıyla düşük regresyon katsayılı ( $R^2=0,9647$ ), ( $R^2=0,9149$ ) ve ( $R^2=0,9002$ ) doğrular elde edilmiş ve sırasıyla Şekil 7(b), (c) ve (d)'de gösterilmiştir. Kurşunun Freundlich modeli için yüksek regresyon katsayılı ( $R^2= 0,9956$ ) doğru elde edilmiştir ve Şekil 8 (a)'da gösterilmiştir. Langmuir, Temkin ve Harkins-Jura modelleri için sırasıyla düşük regresyon katsayılı ( $R^2= 0,9869$ ), ( $R^2=0,9619$ ) ve ( $R^2=0,7601$ ) doğrular elde edilmiş, Şekil 8 (b), (c) ve (d)'de gösterilmiştir. Bütün izoterm denklemlerinin izoterm parametreleri için elde edilen değerler Tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.** İzoterm denklemlerinin izoterm parametreleri ve regresyon katsayıları  
**Table 4.** Isotherm parameters and regression coefficients of isotherm equations

Metal İyonu	Langmuir		
	$q_{max}(mg g^{-1})$	$K_L(L mg^{-1})$	$R^2$
Cu(II) <sub>aq</sub>	2.55	0.76	0.9647
Pb(II) <sub>aq</sub>	10.28	0.52	0.9869
Freundlich			
	1/n	$K_F(mg g^{-1})(L mg^{-1})^{1/n}$	$R^2$
Cu(II) <sub>aq</sub>	0.3465	1.044	0.993
Pb(II) <sub>aq</sub>	0.3638	3.097	0.9956
Temkin			
	RT/b	$K_T(Lmg^{-1})$	$R^2$
Cu(II) <sub>aq</sub>	0.3728	26.50	0.9149
Pb(II) <sub>aq</sub>	1.5055	15.47	0.9619
Harkins-Jura			
	$A_H$	$B_H$	$R^2$
Cu(II) <sub>aq</sub>	0.36	0.92	0.9002
Pb(II) <sub>aq</sub>	4.37	1.09	0.7601



Şekil 7. Bakır için (a) Freundlich (b) Langmuir (c) Temkin (d) Harkins-Jura izotermleri  
 Figure 7. (a) Freundlich (b) Langmuir (c) Temkin (d) Harkins-Jura isotherms for copper



Şekil 8. Kurşun için (a) Freundlich (b) Langmuir (c) Temkin (d) Harkins-Jura izotermleri  
 Figure 8. (a) Freundlich (b) Langmuir (c) Temkin (d) Harkins-Jura isotherms for lead

### 3.8. Adsorpsiyon kinetiği

#### 3.8. Adsorption kinetics

Adsorpsiyon sürecinin mekanizmasının incelenmesi ve adsorpsiyon hızının belirlenmesi amacıyla en çok kullanılan iki model olan yalancı I. ve yalancı II. derece kinetik modeller kullanılmıştır (Wang vd., 2010; Ismail vd., 2014; Tosun vd., 2016) Eşitlik (7)'de ve Eşitlik (8)'de bu kinetik model eşitlikleri verilmiştir.

Yalancı I. derece kinetik model;

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 * t \quad (7)$$

Yalancı II. derece kinetik model;

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (8)$$

$q_e$ =Dengede adsorbe edilen metal iyonu miktarı (mg g<sup>-1</sup>)

$q_t$ =t anında adsorbe edilen metal iyonu miktarı (mg g<sup>-1</sup>)

$k_1$ =Birinci derece reaksiyon hız sabiti (dk<sup>-1</sup>)

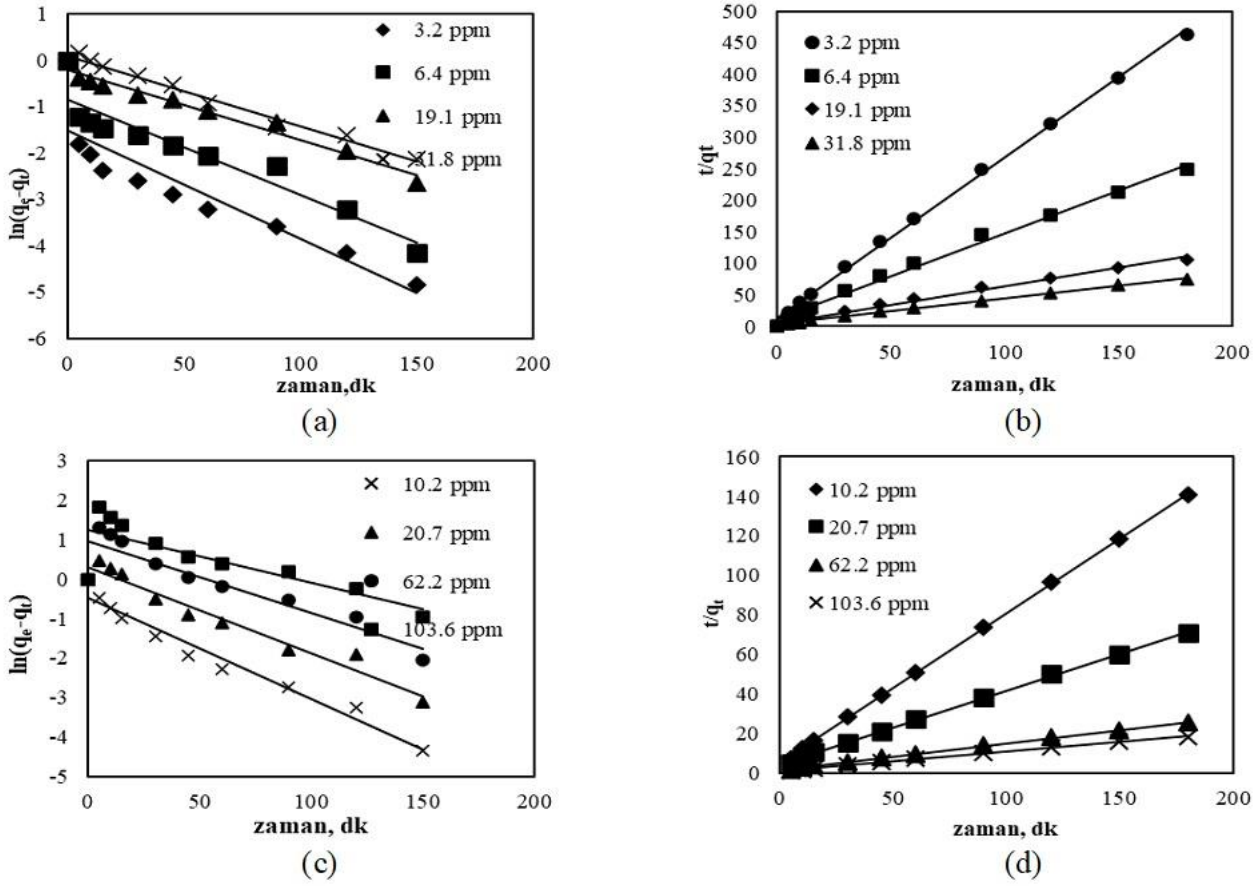
$k_2$ =İkinci derece reaksiyon hız sabiti (g mg<sup>-1</sup> dk<sup>-1</sup>)

t=Adsorpsiyon süresi (dakika) olarak ifade edilir.

Ponza ile bakır ve kurşun iyonlarının adsorpsiyonunun kinetiğini tayin etmek için deneysel datalar kullanılarak Eşitlik (7)'den zamana (t) karşı  $\ln(q_e - q_t)$  ve Eşitlik (8)'den zamana (t) karşı  $t/q_t$  grafikleri oluşturulmuştur. Elde edilen grafiklerdeki yalancı I. ve II. derece kinetik için elde edilen  $q_e$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $R^2$  değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Bu tablodan görüleceği gibi yalancı II. derece için daha yüksek regresyon katsayıları elde edilmiştir. Böylece ponzayla bakır ve kurşun iyonlarının adsorpsiyonunun doğruların eğim ve kaymalarından faydalanarak yalancı II. derece kinetiğe uyduğu ve kimyasal adsorpsiyon ile kontrol edilmiş olabileceği söylenebilir (Bayram vd., 2020). Şekil (9) (a) ve (b) bakırın, (c) ve (d) kurşunun sırasıyla I. ve II. derece kinetik model için elde edilen grafikleri gösterilmiştir.

**Tablo 5.** Bakır ve kurşun iyonlarının adsorpsiyonunda kinetik model sonuçları  
*Table 5. Kinetic model results in adsorption of copper and lead ions*

Metal İyonu	Yalancı I. Derece Kinetik Model			Yalancı II. Derece Kinetik Model		
	$q_e$	$k_1$	$R^2$	$q_e$	$k_2$	$R^2$
<b>Cu(II)<sub>(aq)</sub>(ppm)</b>						
3.2	1.11	0.0152	0.9835	0.394	0.483	0.9983
6.4	0.814	0.0151	0.9709	0.730	0.172	0.993
19.1	0.434	0.0206	0.8935	1.69	0.069	0.9912
31.8	0.218	0.0234	0.812	2.44	0.050	0.9941
<b>Pb(II)<sub>(aq)</sub>(ppm)</b>						
10.2	3.55	0.0135	0.6523	1.32	0.110	0.9998
20.7	2.63	0.0181	0.8415	2.67	0.031	0.9994
62.2	1.35	0.0218	0.9587	7.39	0.010	0.9989
103.6	0.62	0.0257	0.9661	10.06	0.008	0.9979



Şekil 9. (a) Bakırın yalancı I. derece (b) yalancı II. derece kinetik grafiği (c)kurşunun yalancı I. derece (d)yalancı II. derece kinetik grafiği

Figure 9. Plots of pseudo-first(a) and second order (b)of kinetic models for copper, Pseudo first (c) and seconder-order (d) of kinetic models for lead

### 3.9. Termodinamik çalışma

#### 3.9. Thermodynamic study

Termodinamik deneyler sırasıyla 20, 30, 40 ve 50 °C'de gerçekleştirilmiştir. Spesifik adsorpsiyon serbest enerji değişimi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K_0 \quad (9)$$

Bu eşitlikte R evrensel gaz sabiti ( $8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) ve T(K) sulu iyon çözeltisinin sıcaklığıdır.  $K_0$  ise aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$K_0 = \frac{\alpha_s}{\alpha_e} = \frac{v_s q_e}{v_e c_e} \quad (10)$$

Bu eşitlikte  $\alpha_s$  ve  $\alpha_e$  sırasıyla adsorbe olan iyonların ve çözeltideki iyonların dengedeki aktiviteleri,  $v_s$  ve  $v_e$  adsorbe olan iyonların ve çözeltideki iyonların aktivite katsayılarıdır.  $q_e$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) ve  $c_e$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ise sırasıyla dengedeki adsorbent kütlesi başına adsorbe edilen iyon miktarı ve çözeltideki adsorplanmamış denge konsantrasyonunu ifade eder. Çözeltideki iyon

konsantrasyonu azalıp sifıra yaklaştığında aktivite katsayısı 1'e yaklaşır.

Standart serbest enerji değişimi ( $\Delta G^{\circ}$ , kJ/mol), entalpi değişimi ( $\Delta H^{\circ}$ , kJ/mol) ve entropi değişimi ( $\Delta S$ , kJ/mol K) arasındaki ilişki aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$\ln K_0 = \frac{\Delta S^{\circ}}{R} - \frac{\Delta H^{\circ}}{RT} \quad (11)$$

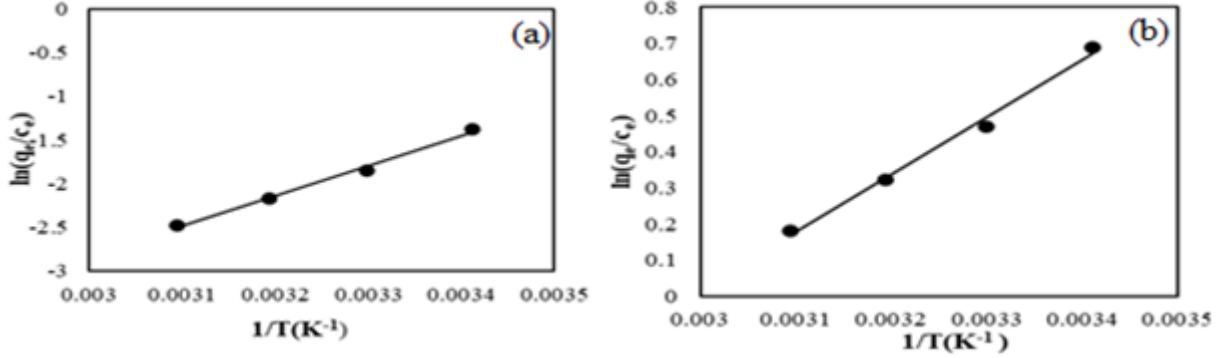
$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T(\Delta S^{\circ}) \quad (12)$$

$\ln K_0$ 'a karşı  $1/T$  çizilerek düz bir doğru elde edilir. Bu doğrunun eğimi  $-\frac{\Delta H^{\circ}}{R}$  ve kayması ise  $\frac{\Delta S^{\circ}}{R}$ 'dir. Farklı sıcaklıklarda ponza üzerine Cu(II) ve Pb(II) iyonlarının adsorpsiyonu için  $\ln K_0$ 'a karşı  $1/T$  grafiği sırasıyla Şekil 10 (a) ve (b)'de gösterilmiştir. Hesaplanan termodinamik parametreler ise Tablo 6'da gösterilmiştir.

Cu(II) ve Pb(II)'nin adsorpsiyonunda  $\Delta S^{\circ}$ 'nin büyüklüğü ve işareti ( $\Delta S^{\circ} < 0$ ), adsorpsiyon sırasında katı-sıvı fazda Cu(II) ve Pb(II)

hareketliliğin daha az rastgele olduğunu gösterir. Ayrıca, Cu(II) için pozitif  $\Delta G^\circ$  değeri adsorpsiyonun kendiliğinden meydana gelmediğini, termodinamik açıdan uygulanabilirliğinin az olduğunu, Pb(II) için negatif  $\Delta G^\circ$  değeri adsorpsiyonun kendiliğinden

meydana geldiğini, termodinamik açıdan uygulanabilirliğinin fazla olduğunu göstermektedir (Qu vd., 2010). Negatif  $\Delta H^\circ$  değerleri ise adsorpsiyon prosesinin dış ortama ısı veren bir reaksiyon şeklinde meydana geldiğini göstermektedir.



**Şekil 10.** Ponza üzerine a) Cu (II), (b) Pb(II) adsorpsiyonu için  $\ln K_0$ 'a karşı  $1/T$  grafiği  
**Figure 10.**  $\ln K_0$  vs.  $1/T$  plot for a) Cu(II), (b) Pb(II) adsorption on pumice

**Tablo 6.** Ponza üzerine Cu(II) ve Pb(II) iyonunun adsorpsiyonu için termodinamik parametreler  
**Table 6.** Thermodynamic parameters for the adsorption of Cu(II) and Pb(II) ion on pumice

T(K)	Cu(II)			Pb(II)		
	$\Delta G^\circ$	$\Delta H^\circ$	$\Delta S^\circ$	$\Delta G^\circ$	$\Delta H^\circ$	$\Delta S^\circ$
		-28.7	-0.11		-13.2	-0.039
293	3.53			-1.77		
303	4.63			-1.38		
313	5.73			-1.08		
323	6.83			-0.60		

### 3.10. Ponzanın diğer adsorbentler ile karşılaştırması

#### 3.10. Comparison of pumice with other adsorbents

Cu(II) ve Pb(II) iyonları için farklı adsorbentlerin maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması Tablo 7'de verilmiştir. Tabloda verilenlere göre ponzanın Cu(II)'ye adsorpsiyon kapasitesinin başka bir ponza dışındaki diğer

adsorbentlere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Tablo 7'de Pb(II) iyonlarına adsorpsiyonuna bakıldığında ise Abgani kili ve Van ponzası dışında diğer adsorbentlerin adsorpsiyon kapasitesinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, çalışmada kullanılan ponzaya kullanılabilirliğini arttırmak için herhangi bir ön işlem uygulanmamasından kaynaklanmaktadır.

**Tablo 7.** Cu(II) ve Pb(II) iyonları için ponzanın çeşitli adsorbentlerle adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması

**Table 7.** Comparison of the adsorption capacities of pumice with various adsorbents for Cu(II) and Pb(II) ions

Adsorbent	Cu(II) adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)	Referans	Adsorbent	Pb(II) adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)	Referans
İmmobilize bentonit	54.07	Erdem vd, (2009)	Bentonit Kili	51.19	Al-Jilil vd, (2015)
Piroluzit (MnO <sub>2</sub> )	26.74	Demirkıran, (2014)	Kaolinit	11.50	Gupta ve Bhattacharyya, (2008)
Ponza	1.43	Öztürk ve Şahan, (2015)	Abgani kili	0.82	Dawodu vd, (2012)
Na-bentonite	17.87	Zhi-rong and Shao-qi, (2010)	Sudi Arabistan kili	30.0	Al-Jilil vd, (2009)
Gotit	37.25	Mohapatra vd, (2010)	Gotit	109.20	Mohapatra vd, (2010)
Genişletilmiş perlit	8.62	Sarı vd, (2007)	Genişletilmiş perlit	13.39	Sarı vd, (2007)
Kaolinit	4.42	Shahmohammadi vd, (2011)	Türkiye Illitic kili	238.98	Ozdeş vd, (2011)
Siderit	19.80	Dankova vd, (2015)	Van ponzası	5.22	Kul vd, (2019)
Montmorillonit	7.61	Ijagbemi vd, (2009)	İşlem görmüş bentonit	110.0	Faghihian vd, (2009)
Ponza	2.55	Bu çalışma	Ponza	10.28	Bu çalışma

#### 4. Sonuçlar

##### 4. Conclusions

Optimum şartlar; adsorban miktarı (0.4g), bakır başlangıç çözelti derişimi (6.4ppm) ve kurşun başlangıç çözelti derişimi (20.7ppm), bakır için (serbest) pH 6.1 ve kurşun için (serbest) pH 5.25 iken ve 180 dakikalık işlem süresi sonunda en yüksek adsorpsiyon verimi %91 bakır ve %97.7 kurşun bulunmuştur. 6.4 ppm bakır ve 20.7 ppm kurşun çözelti derişimlerinde ponzanın maksimum adsorplama kapasitesi sırasıyla 2.55 mg g<sup>-1</sup> ve 10.28 mg g<sup>-1</sup>'dir. Literatür sonuçlarına benzer olarak çözeltilerin serbest pH değerlerinde (bakır (pH=6.1) ve kurşun (pH=5.25)) maksimum adsorpsiyon verimi bulunmuştur. Bundan daha yüksek pH'larda adsorpsiyon verimi azalmaktadır. Deneysel verilerin bakır ve kurşunun adsorpsiyonu için Freundlich izoterm modeline uygun olduğu ve adsorpsiyon kinetiğinin yalancı ikinci derece davranış gösterdiği belirlenmiştir. Ponza üzerine adsorpsiyon prosesi sırasında standart serbest enerji değışimi ( $\Delta G^\circ$ ), Cu(II) ve Pb(II) iyonları için sırasıyla pozitif ve negatif değerlidir. Bu sonuç Pb(II) için adsorpsiyon reaksiyonunun kendiliğinden olabileceğini gösterirken Cu(II) için reaksiyonun kendiliğinden gerçekleşmeyeceğini göstermektedir. Ayrıca entalpi değışim değerlerinin negatif olması adsorpsiyon prosesinin isı vererek gerçekleştiğini göstermektedir.

#### Teşekkür/ Katkı Belirtme

##### Acknowledgement

Bu çalışma; MFTUB014-03 nolu Araştırma Projesi olarak, Munzur Üniversitesi tarafından finanse edilmiştir. Katkılarından dolayı MUNİBAP'a teşekkür ederiz.

#### Yazar Katkısı

##### Author contribution

Bu makalenin yazarları çalışmanın planlanması, deneylerin yapılması ve sonuçların yorumlanmasına birlikte katkı sağlamışlardır.

#### Etik beyanı

##### Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

#### Çıkar çatışması beyanı

##### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

#### Kaynaklar

##### References

Al-Jilil, S.A., & Alsewailem, F.D. (2009). Saudi Arabian clays for lead removal in wastewater, *Applied*.

- Clay Science*, 42(3-4), 671–674.  
https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.03.012
- Al-Jilil, S.A. (2015). Kinetic study of adsorption of chromium and lead ions on bentonite clay using novel internal series model. *Trends in Applied Sciences Research*, 10(1), 38–53.  
https://dx.doi.org/10.3923/tasr.2015.38.53
- Akbal, F. (2005). Adsorption of basic dyes from aqueous solution onto pumice powder. *Journal of Colloid and Interface Sciences*, 286(2), 455–458.  
http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2005.01.036
- Bayram, T., Bucak, S., & Ozturk, D. (2020). BR13 dye removal using sodium dodecyl sulfate modified montmorillonite: equilibrium, thermodynamic, kinetic and reusability studies. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 158, 108186.  
https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108186
- Benek, V. (2015). *Van bölgesindeki doğal pomza taşının bazı ağır metallerin adsorpsiyonunda kullanılması* [Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Chotpantarat, S., Ong, S., Sutthirat, C., & Osathaphan, K. (2011). Competitive sorption and transport of  $Pb^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ , and  $Zn^{2+}$  in lateritic soil columns. *Journal of Hazardous Materials*, 190, 391–396.  
https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.03.058
- Dankova, Z., Bekényiová, A., Štyriaková, I., & Fedorová, E. (2015). Study of Cu(II) adsorption by siderite and kaolin. *Procedia. Earth and Planetary Science*, 15, 821–826.  
https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.08.131
- Dawodu, F.A., Akpomie, G.K., & Ejikeme, P.C.N. (2012). Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies on the adsorption of lead (II) from solution by “Agbani Clay”. *Research Journal of Engineering Sciences*, 1(6), 9–17.
- Demirkıran, N. (2015). Copper adsorption by natural manganese dioxide. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25(2), 647–653.  
https://doi.org/10.1016/S1003-6326(15)63648-2
- El-Eswed, B., Alshaaer, M., Yousef, İ.R., Hamadneh, I., & Khalili, F. (2012). Adsorption of Cu (II), Ni(II), Zn(II), Cd(II) and Pb(II) onto kaolin/zeolite based- geopolymers. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 2(4), 119–125.  
http://dx.doi.org/10.4236/ampc.2012.24B032
- Erdem, B. Özcan, A., Gök, Ö., & Özcan, A.S. (2009). Immobilization of 2,2-dipyridyl onto bentonite and its adsorption behavior of copper(II) ions. *Journal of Hazardous Materials*, 163(1), 418–426.  
https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.112
- Ersoy, B., Sarişik, A., Dikmen, S., & Sarişik, G. (2010). Characterization of acidic pumice and determination of its electrokinetic properties in water. *Powder Technology*, 197(1-2), 129–135.  
http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2009.09.005
- Ertaş, M., Acemioğlu, B., Alma, M.H., & Usta, M. (2010). Removal of methylene blue from aqueous solution using cotton stalk, cotton waste and cotton dust. *Journal of Hazardous Materials*, 183(1-3), 421–427.  
https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.07.041
- Faghihian, H., & Nejati-Yazdinejad, M. (2009). A comparative study of the sorption of Cd (II) and Pb(II) ions from aqueous solution by local bentonite and clinoptilolite. *Adsorption Science & Technology*, 27(1), 107–115.  
https://doi.org/10.1260/026361709788921588
- Ghassabzadeh, H., Torab-Mostaedi, M., Mohaddespour, A., Maragheh, M.G., Ahmadi, S.J., & Zaheri, P. (2010). Characterizations of Co (II) and Pb (II) removal process from aqueous solutions using expanded perlite. *Desalination*, 261(1-2), 73–79.  
http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.028
- Gupta, S.S., & Bhattacharyya, K.G. (2008). Immobilization of Pb(II), Cd(II) and Ni(II) ions on kaolinite and montmorillonite surfaces from aqueous medium. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 46–58.  
https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.048
- Halas, P., Kolodynska, D., Plaza, A., Geca, M. & Hubicki, Z. (2017). Modified fly ash and zeolites as an effective adsorbent for metal ions from aqueous solution. *Adsorption Science & Technology*, 35(5-6), 519–533.  
https://doi.org/10.1177/0263617417700420
- Harman, B.I., & Genisoğlu, M. (2016). Synthesis and characterization of pumice-supported nzwı for removal of copper from waters. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1–10.  
https://doi.org/10.1155/2016/4372136
- Hasan, S., Ghosh, T.K, Viswanath, D.S., & Boddu, V.M. (2008). Dispersion of chitosan on perlite for enhancement of copper(II) adsorption capacity. *Journal of Hazardous Materials*, 152(2), 826–837.  
https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.078
- Hızal, J., Apak, R., & Demirçivi, P. (2012). Kaolen bazlı kil mineralleri üzerinde, hümik asidin bulunduğu ve bulunmadığı sistemlerde ağır metal katyonlarının tek başına ve yarışmalı adsorpsiyonunun yüzey kompleksleşme modeliyle açıklanması. *Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Dergisi*, 14(1), 63–81.
- Ijagbemi, C.O., Baek, M. & Kim, D. (2009). Montmorillonite surface properties and sorption

- characteristics for heavy metal removal from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 166(1), 538–546. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.11.085>
- Ikhsan, J., Johnson, B.B., & Wells, J.D. (1999). Comparative study of the adsorption of transition metals on kaolinite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 217(2), 403–410. <https://doi.org/10.1006/jcis.1999.6377>
- Irani, M., Amjadi, M., & Mousavian, M.A. (2011). Comparative study of lead sorption onto natural perlite, dolomite and diatomite. *Chemical Engineering Journal*, 178, 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.10.011>
- Ismail, A.I.M., El-Shafey, O.I., Amr, M.H.A., & El-Maghraby, M.S. (2014). Pumice characteristics and their utilization on the synthesis of mesoporous minerals and on the removal of heavy metals. *International Scholarly Research Notices*, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2014/259379>
- Kar, F., Yılgin, M., & Duranay, N. (2019). Aktifleştirilmiş zeolit ve polivinilprolidon kullanılarak sulu çözeltiden metilen mavisinin giderilmesinde adsorpsiyon parametrelerinin belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 1–14. <https://doi.org/10.29130/dubited.472089>
- Karapınar, N., & Donat, R., (2009). Adsorption behaviour of Cu<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> onto natural bentonite. *Desalination*, 249(1), 123–129. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.12.046>
- Khan, T. A., Chaudhry, S.A., & Ali, I. (2015) Equilibrium uptake, isotherm and kinetic studies of Cd(II) adsorption onto iron oxide activated red mud from aqueous solution. *Journal of Molecular Liquids*, 202, 165–175. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2014.12.021>
- Kul, A.R., Elik, H., & Benek, V. (2019). Van pomzasi üzerinde kurşun iyonunun adsorpsiyon kinetiği. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 35(2), 26–31.
- Lin, S.H., & Juang, R. (2002). Heavy metal removal from water by sorption using surfactant-modified montmorillonite. *Journal of Hazardous Materials*, 92(3), 315–326. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00026-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00026-2)
- Madrakian, T., Afkhami, A., & Ahmadi, M. (2012). Adsorption and kinetic studies of seven different organic dyes onto magnetite nanoparticles loaded tea waste and removal of them from wastewater samples. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 99(15), 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2012.09.025>
- Mohapatra, M., Mohapatra, L., Singh, P., Anand, S., & Mishra, B.K. (2010). A comparative study on Pb(II), Cd(II), Cu(II), Co(II) adsorption from single and binary aqueous solutions on additive assisted nano-structured goethite. *International Journal of Engineering Science and Technology*. 2(8), 89–103. <https://doi.org/10.4314/ijest.v2i8.63784>
- Okumuş, Z. Ç., & Doğan, T.H. (2019). Biyodizeldeki suyun reçine ile uzaklaştırılması: adsorpsiyon izotermi, kinetiği ve termodinamik incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 561–570. <https://doi.org/10.31590/ejosat.535977>
- Öztürk, D., & Şahan, T. (2015). Design and optimization of Cu(II) adsorption conditions from aqueous solutions by low-cost adsorbent pumice with response surface methodology. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(4), 1749–1756. <https://doi.org/10.15244/pjoes/40270>
- Parlayıcı, Ş., & Altun, T. (2018). Kitosan kaplı kaolin boncukların sulu çözeltilerden krom(VI) uzaklaştırılmasında adsorbent olarak kullanımı. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknik Dergisi*, 6(1), 140–151. <https://doi.org/10.15317/Scitech.2018.121>
- Phuong, D.T.M., Miyanishi, T., Okayama, T., & Kose, R. (2016). Pore characteristics & adsorption capacities of biochars derived from rice residues as affected by variety and pyrolysis temperature. *The American Journal of Innovative Research and Applied Science*.
- Puls, R.W. (1986). *Adsorption of heavy metals on soil clays*. [PhD Thesis, The University of Arizona].
- Qu, J., Tian, X., Jiang, Z., Cao, B., Akindoliea, M.S., Hu, Q., Feng, C., Feng, Y., Meng, X., & Zhang, Y. (2020). Multi-component adsorption of Pb (II), Cd(II) and Ni(II) onto microwavefunctionalized cellulose: kinetics, isotherms, thermodynamics, mechanisms and application for electroplating wastewater purification. *Journal of Hazardous Materials*, 387, 121718. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121718>
- Ozdes, D., Duran, C. & Senturk, H. B. (2011). Adsorptive removal of Cd(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions by using Turkish illitic clay. *Journal Environmental Management* 92(12), 3082–3090. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.07.022>
- Samarghandi, M.R., Zarrabi, M., Sepehr, M.N., Amrane, A., Safari, G.H., & Bashiri, S. (2012). Application of acidic treated pumice as an adsorbent for the removal of azo dye from aqueous solutions: kinetic, equilibrium and



- thermodynamic studies. *Iranian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering*, 9(1), 9. <https://doi.org/10.1186/1735-2746-9-9>
- Samarghandi, M.R., Zarrabi, M., Amrane, A., Soori, M.M., & Sepehr, M.N. (2013). Removal of acid black dye by pumice stone as a low cost adsorbent: kinetic, thermodynamic and equilibrium studies. *Environmental Engineering and Management Journal*, 12(11), 2137-2147. <http://dx.doi.org/10.30638/eemj.2013.265>
- Sarı, A, Tuzen, M., Cıtak, D., & Soylak, M. (2007). Adsorption characteristics of Cu(II) and Pb(II) onto expanded perlite from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*, 148(1-2), 387-394. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.02.052>
- Shahmohammadi- Kalalagh, Sh., Babazadeh, H., Nazemi, A.H., & Manshourı, M. (2011) Isotherm and kinetic studies on adsorption of Pb, Zn and Cu by kaolinite. *Caspian Journal Environmental Sciences*. 9(2), 243–255.
- Sharma, Y.C., Prasad, G.& Rupainwar, D.C. (1991). Removal of Ni(II) from aqueous solutions by sorption. *International Journal of Environmental Studies*. 37(3),183-191. <https://doi.org/10.1080/00207239108710629>
- Şahan, T., & Öztürk, D. (2014). Investigation Pb(II) adsorption onto pumice samples: application of optimization methods based on fractional factorial design and response surface methodology. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16(5), 819-831. <http://dx.doi.org/10.1007/s10098-013-0673-8>
- Tanaydın, B.Z., Tanaydın, M.K., İnce, M., & Demirkıran, N. (2020). Bakır ve kadmiyumun perlit ile adsorpsiyonu ve adsorpsiyon özelliklerinin karşılaştırılması. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 6(2), 208-218. <https://doi.org/10.29132/ijpas.746970>
- Tosun, E., Tanaydın, M.K., Özdemir, Turhan, G.D., & Demirkıran, N. (2016). Sulu çözeltilerden lewaitit S-108 katyon değişim reçinesiyle bakır iyonlarının adsorpsiyonu. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(5), 77-87.
- Tözüm, S. (2009). Ponza ile zeytin atık sularından (karasu) adsorpsiyonla kirleticilerin giderimi. [Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Turan, N.G., & Ozgonenel, O. (2013). Study of montmorillonite clay for the removal of copper (II) by adsorption: full factorial design approach and cascade forward neural network. *The Scientific World Journal*, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2013/342628>
- Vijayakumar, G., Tamilarasan, R., & Dharmendirakumar, M. (2012). Adsorption, kinetic, equilibrium and thermodynamic studies on the removal of basic dye Rhodamine- B from aqueous solutions by the use of natural adsorbent perlite. *Journal of Materials and Environmental Science*, 3(1), 157-170.
- Vivian, J., Matna, K., & Guyo, U. (2017). Removal of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solution using alkaline-modified pumice stone powder (PSP): equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies. *Turkish Journal of Chemistry*, 41, 748-759. <http://dx.doi.org/10.3906/kim-1701-40>
- Wang, L., Lin, C., & Wu, F. (2010). Kinetic study of adsorption of copper (II) ion from solution using rice hull ash. *Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 41(5), 599-605. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2010.01.003>
- Williams, D. (2014). *Essential biomaterials science* (1st ed.). Cambridge Universty Press,
- Yanık, S. (2007). *Bazık pomzaların beton agregası olarak kullanılabilirliği* [Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Zhi-rong, L., & Shao-qi, Z. (2010) Adsorption of copper and nickel on Na-bentonite, *Process. Safety and Environmental. Protection*. 88(1), 62–66. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2009.09.001>

## Sinyalize kavşaklarda ülkelere göre gecikme ve kuyruk uzunluğu denklemleri geliştirilmesinin gerekliliği üzerine bir araştırma

*A study on the necessity of developing delay and queue length equations according to countries at signalized intersections*

**Metin Mutlu AYDIN<sup>\*1,a</sup>, İbrahim AYDOĞDU<sup>2,b</sup>, Mehmet Sinan YILDIRIM<sup>3,c</sup>**

<sup>1</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55200, Samsun

<sup>2</sup> Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 07000, Antalya

<sup>3</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 45110, Manisa

• Geliş tarihi / Received: 20.09.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 08.02.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 19.02.2022

### Öz

Dünya genelinde artış gösteren araç sayısına bağlı olarak gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki sinyalize kavşaklarda gözlemlenen karmaşa ve tıkanıklık problemleri, kavşakların yeniden düzenlenmesi konusuna olan ilgiyi arttırmaktadır. Kavşak geometrilerinin o ülkelerin koşulları değerlendirilerek tasarlanması ve bu geometrik tasarıma yönelik gecikme, kuyruk uzunluğu vb. hesap yöntemlerinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında, şehiriçi kavşaklarda geometrik problemler bulunan Antalya/Türkiye’de yer alan 6 farklı sinyalize kavşak için incelenmiştir. Analizler kapsamında literatürde en çok kullanılan gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinden olan HCM (2010) ve Avustralya (Akçelik) yöntemlerinin geometrisi hatalı kavşaklar için performans değerlendirilmesi yapılarak gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerin kendi trafik kültürüne uygun sinyalize kavşaklar tasarımlarının gerekli olup olmadığı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, kavşak bazlı ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE) değerlerinin altı kavşak için ortalaması alındığında gecikme için ortalama en düşük hataya (%64.5) sahip olan yöntemin HCM 2010, kuyruk uzunluğu hesabı içinse ortalama en düşük hataya (%40.9) sahip olan yöntemin ise yine HCM 2010 olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, seçilen kuyruk uzunluğu yöntemlerinin seçilen gecikme yöntemlerine göre kavşaklardaki mevcut durumu daha düşük hata ile ölçtüğü görülse de yine de bu hata miktarlarının oldukça yüksek olması, seçilen yöntemlerin Türkiye’deki sinyalize kavşaklar için doğrudan kullanılabilir (efektif) olmadığını göstermektedir. Bu durum, bu çalışma kapsamında önerilen Türkiye ve Türkiye gibi kavşak kollarında geometrik ve sürücü disiplinsizliklerinin bulunduğu ülkelere özgü gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinin geliştirilmesinin gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Araç gecikmesi, İlegal şerit oluşumu, Kuyruk uzunluğu, Sinyalize kavşak.

### Abstract

Due to the increasing number of vehicles in the world, the confusion and congestion problems observed at signalized intersections in undeveloped and developing countries caused an increase in interest for rearrangement. The design of intersection geometries is very important to develop delay and queue length calculation methods considering conditions. In this study, the situation in Antalya/Turkey, which has geometric problems at urban intersections, has been examined for six signalized intersections. Additionally, HCM (2010) and Australia (Akçelik) methods, which are widely used delay and queue length methods, are examined for the calculation problems at intersections for undeveloped and developing countries considering their traffic culture. According to the results, when the intersection-based MAPE values are averaged for six intersections, the method with the lowest average error (64.5%) for delay is found in HCM 2010, and the method with the lowest average error (40.9%) for queue length is found HCM 2010 again. It is seen that selected queue length methods measure the current situation at intersections with less error than used delay methods, but the fact that value of errors are quite high. It indicates that the selected methods are not directly applicable for intersections. Results clearly reveal the necessity to develop specific delay and queue length methods for undeveloped and developing countries where there are geometric indisciplines at intersection legs.

**Keywords:** Vehicle delay, Illegal lane configuration, Queue length, Signalized intersection.

<sup>a</sup> Metin Mutlu AYDIN; metinmutluaydin@gmail.com, Tel: (0506) 269 91 49, <sup>a</sup>orcid.org/0000-0001-9470-716X

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-8281-2365

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0001-5347-2456

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde ne yazık ki şehiriçi yolların planlanma ve inşa aşamalarında, gerek plancıların bilgi eksikliği ve tecrübesizliği gerekse karar vericilerin politik davranması sonucu plansız, düzensiz ve işlevsiz yollar ve kavşaklar inşa edilmektedir. Özellikle belirli bir standarda göre inşa edilmeyen bu yollar ve kavşaklar günümüz şartlarında gerekli hizmeti verememektedir. Dolayısıyla bu yol ve kavşaklarda uzun kuyruklar, kural ihlalleri, trafik kazaları, agresif sürücü davranışları vb. işletim ve güvenlik problemleri sıklıkla gözlemlenmektedir. Bu problemler, sürücüleri agresif davranma ve kurallara uymama konusunda daha fazla teşvik etmekte ve bunun sonucunda da her gün onlarca trafik kazası meydana gelmektedir.

Son yıllarda Dünya’da artış gösteren araç sayısına bağlı olarak bu ülkelerdeki sinyalize kavşaklarda gözlemlenen yoğun karmaşa ve tıkanıklık problemleri, kavşakların yeniden düzenlenmesi konusuna olan ilgiyi arttırmaktadır. İlgide artış olmasına rağmen yetkililerin tasarım ve standartlar konusunda bilgi ve deneyim eksikliğinin bulunması, onları yalnızca kapasiteyi arttırıcı çözümler üretmeye teşvik etmektedir. Bu kısıtlı çözümler yukarıda değinildiği gibi birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu tür problemlerin bulunduğu ülkelerdeki şehiriçi sinyalize kavşaklarda geometriden kaynaklanan ve sık görülen problemlerin başında, kavşak kollarındaki illegal ek şerit oluşumu, yetersiz ve düzensiz şerit genişlikleri, sağa/sola dönüş ceplerinin yetersiz veya hiç olmaması, kavşak ada çapının yetersiz boyutta olması vb. geometriden kaynaklı sorunlar gelmektedir. Kavşaklardaki geometriden kaynaklı tüm bu sorunlar kavşak kollarında aşırı kuyruk oluşumuna, kavşak içerisinde karmaşaya ve doğal olarakta kazalara neden olmaktadır. Kavşak kollarındaki şerit sayısı ve genişliğinin düzensiz olduğu bu tür ülkelerde iki şeritli olan kavşak kolunda bazen iki bazen ise illegal şerit oluşumu ile üç şeritten oluşan taşıt kuyruğu görülebilmektedir. Bu uzun kuyruk uzunlukları ve meydana gelen gecikmeler, kavşaklardaki geometri hatalarından kaynaklı illegal ek şerit oluşumu ve bunun trafik akımı üzerinde olumsuz etkilerinden kaynaklanabilmektedir. Ayrıca geometri hatalarının yanı sıra, devre süresinin optimum süre bazlı tasarlanmaması, mevcut araç kompozisyonu, sürücü davranışları, ilk kalkış kaybı, düzensiz şerit değiştirme vd. etmenlerde bu karmaşayı daha büyük bir hale dönüştürebilmektedir. Bu durum gelişmiş ülkelere önerilen gecikme, kuyruk

uzunluğu vb. modellerin bu tür ülkelerdeki hesaplamalarda kullanılabildiğini net şekilde göstermektedir. Dolayısıyla şehiriçi kavşaklarında geometrik problemler bulunan bu tür ülkelerde, kavşak geometrilerinin o ülkelerin kültürel, eğitim, sosyoekonomik koşullarının değerlendirilerek tasarlanması ve bu geometrik tasarıma yönelik gecikme, kuyruk uzunluğu vb. hesap yöntemlerinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında öncelikle, şehiriçi kavşaklarda geometrik problemler bulunan Türkiye için literatürde en çok kullanılan gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinden olan [Highway Capacity Manual \(HCM, 2010\)](#) ve [Avustralya \(Akçelik, 1980\)](#) yöntemlerinin geometrisi hatalı kavşaklar için performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Sonraki adımda ise gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerin öncelikle kendi trafik kültürüne uygun sinyalize kavşaklar tasarımları gerektiği ve sonrasında ise kendilerine özgü hesap yöntemleri geliştirmelerinin gerekliliği analiz sonuçları ile ortaya konulmuştur.

## 2. Literatür taraması

### 2. Literatur review

Gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde şehiriçi yollarda yer alan sinyalize kavşaklarda standartlara uygun olarak tasarlanmadan inşa edilmiş birçok (sinyalize ve sinyalize olmayan dönel, dört kollu, T, Y vb.) kavşak türünü görmek mümkündür. Bu kavşakların birçoğunda yanlış tasarımdan kaynaklanan güvenlik (karmaşa, kural ihlali, şerit disiplinsizliği, kazaya sebebiyet verme vb.) ve performans (kapasite kaybı, kuyruk oluşumu, gecikme vb.) sorunları sıklıkla gözlemlenmektedir. Mevcut çalışmalarda, pek çok ülkede kavşakların tasarım ve inşa aşamasında standartlara uyulmamasından dolayı sürücülerin algı ve davranışlarının güçleştiği gözlemlenmiştir ([Arıkan Öztük vd., 2007](#), [Günay vd., 2013](#), [Aydemir, 2006](#), [Vrieling vd., 2014](#), [Wood vd., 2015](#), [Elvik, 2003](#), [Flannery, 2001](#), [Persaud vd., 2001](#), [Gross vd., 2013](#), [Aydın, 2017](#), [Aydın vd., 2017](#)). Yapılan araştırmalardan kavşakların tasarım ve işletmesinde belirli bir standardın olmamasının, düzensizliğe ve kavşak içerisinde bir kaosa yol açarak sürücüler üzerinde stres, agresiflik vb. olumsuz davranışlara ve dolayısıyla da kazalara neden olduğu belirlenmiştir ([Devin vd., 2011](#), [Bao & Boyle, 2009](#), [Keay vd., 2009](#), [Takemoto vd., 2008](#), [Braitman vd., 2007](#)). Örneğin, bu sorunların görüldüğü ülkelere birisi olan Türkiye’de 2019 yılında meydana gelen trafik kazaları incelendiğinde, meydana gelen kazaların yaklaşık olarak %22’sinin şehiriçi kavşaklarda olduğu görülmektedir ([TÜİK, 2019](#)). Bu sonuç,

Türkiye’deki kavşakların geometrik disiplinsizliğe sahip olması ve sürücülerin bilgisizliği ve kurallara itaat etmeme eğiliminin ne kadar çok sayıda kazaya sebebiyet verdiğini ve bunun da daha çok kent merkezlerinde olduğunu göstermektedir.

Türkiye’de kavşak tasarım sorunlarını ve sürücü davranışlarını inceleyen, bu sorunlara dikkat çeken az sayıda da olsa bazı çalışmalar mevcuttur. Örneğin, [Saplıoğlu & Karaşahin \(2010\)](#) şehiriçi sinyalize olmayan kavşak kazalarının oluşmasına sebep olan unsurlara dikkat çekmek için (insan unsuru ve taşıt unsuru hariç) yol ve çevre unsurlarının özellikle kavşak geometrik özellikleri ile kazalar üzerindeki etkilerinin tümünü ayrıntılı olarak incelemiştir. Elde edilen çalışma sonuçlarından, Türkiye’de şehiriçi sinyalize olmayan kavşak geometrisi ve güvenliği ile ilgili az sayıda çalışmanın mevcut olduğu belirlenmiştir. Bu durumun en önemli sebebi olarak kavşak geometrilerinin ayrıntılı olarak kaza tutanaklarında yer almaması ve kavşaklarda gerekli tasarım esaslarının uygulanmamasının olduğunu belirtmişlerdir. Benzer bir amaç taşıyan bir başka çalışmada ise [Yüksel \(2007\)](#), şehiriçi yollarda geometrik tasarımı hatalı, belirli bir standarda uymayan ve sürücülerin algılamasını güçleştiren kavşakların bulunduğu dikkat çekerek, bunun yerine gelişmiş ülkelerde aktif olarak kullanılan ve birçok pozitif yönü bulunan modern dönel kavşakların kullanılmasını önermiştir. Ayrıca [Yüksel \(2007\) çalışmasında](#), sinyalize ve kontrolsüz kavşakların modern dönel kavşaklara dönüştürülmesi ile kavşaklara giriş hızlarının düşeceğini, sürücülerin hız yapması veya kırmızı ışıkta aniden durmalarının engellenerek, muhtemel çarpışmaların şiddetinin azaltılabileceğini belirtmiştir. Bir başka çalışmada ise [Aydemir \(2006\)](#), yanlış sinyalize dönel kavşak tasarımı ile durma noktalarının arttığını ve bunun sonucunda gecikme süreleri, kazaların sayısı, sıkışıklık ve sürücü hatalarının sayısında belirgin bir artış görüldüğünü ifade etmiştir. Ayrıca [Aydemir \(2006\) çalışmasında](#), kanunla belirlenmiş olan kavşaklardaki geçiş üstünlüğü kuralının Türk sürücüler tarafından bilinmediğini ve hem tasarım hem de bilgi eksikliğinin kavşakların en büyük problemi olduğunu açıklamıştır. [Aydar \(2011\)](#) ise karayolundaki kavşakların tipine karar verme sürecinde kapasite, güvenlik ve maliyet (K-G-M) parametrelerini optimize eden bir model geliştirmiştir. Bu model ile kent dışı kavşaklar incelenerek bu kavşak türlerinin eksiklikleri, yetersizlikleri ve aksaklıkları önemle dikkate almış; bu kavşaklarda hangi yollar izlenerek incelenen kavşaklardaki sorunların nasıl çözüleceğini araştırmıştır. Çalışma sonucunda,

Türkiye’de mevcut eşdüzey kavşak uygulamalarından farklı düzey kavşak uygulamalarına hemen geçilmesinin ve bu geçişin belirli insanların arzu ve isteğine bırakılmasının çok olumsuz sonuçlara neden olacağına dikkat çekmiştir. Bir başka çalışmada ise [Tuncuk & Karaşahin \(2005\)](#), sinyalize olmayan eşdüzey kavşakların güvenliğini araştırmıştır. Yaptıkları çalışmada, dönel kavşakların anayoldaki hareketlilik, aynı yönde duran/ yavaş hareket eden taşıtlar ile devam eden taşıtlar arasında hız farkının çok olmasından kaynaklı sinyalizasyonlu kavşaklardan daha tehlikeli olduğuna dikkat çekmişlerdir. Bu nedenle Türkiye’de, şehiriçi hemzemin kavşakların iyileştirilmesinde emniyet, ekonomi, kapasite ve çevreye uygunluğunun sırasıyla göz önünde bulundurulması gerekliliğini belirtmişlerdir.

Başka ülkelerde yapılan çalışmalar incelendiğinde de benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Örneğin, [Al-Ghamdi \(2003\)](#) tarafından Suudi Arabistan’da yapılan çalışmada şehiriçi sinyalize kavşaklarda meydana gelen kazaların sebebini araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan kavşaklardaki kazaların önlenmesi için yol geometrisinin, üzerinde gerekli olan trafik kontrol cihazlarının yerleştirilmesiyle birlikte geometrisinin yeniden düzenlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Bir başka çalışmada ise [Devin vd. \(2011\)](#), kavşaklarda meydana gelen kazaların birçoğunun sinyal kontrollü kavşaklarda meydana geldiğini belirlemişlerdir. Elde edilen bu sonuçlar ile kavşakların doğru geometriye sahip olmasının önemine dikkat çekmişlerdir.

Sinyal kontrollü kavşaklarda meydana gelen kazalarda ana sorun olarak durma ([Bao & Boyle, 2009](#), [Keay vd., 2009](#)) ve kavşakta yol verme problemlerinin etkili olduğu görülmüştür ([Takemoto vd., 2008](#)). Yapılan çalışmalar, meydana gelen çarpışma tiplerinin sürücü hatalarının türü ve kavşak tasarımı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. [Bao & Boyle \(2009\)](#), [Keay vd. \(2009\)](#), [Takemoto vd. \(2008\)](#) ve [Wang & Abdel-Aty \(2007\)](#) ise bu kazaların temel nedeninin sürücülerin sinyalize kavşaklarda geometriden kaynaklı görüş kabiliyetinin zayıf olması ya da yol hakkı kurallarına riayet etmemesinden kaynaklandığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar kavşaklarda sıkça meydana gelen arka-ön çarpışmaların kavşaklardaki tasarım eksiklikleri ve sürücülerin dikkatsizliğinden kaynaklandığına özellikle dikkat çekmişlerdir.

Sinyalize kavşaklarda, geometriden kaynaklı problemlerin görüldüğü birçok ülkede kavşakların

performansını arttırmak için uygulanan şerit sayısının artırılması ya da standartlara uygun olmayan geometrik düzenlemeleri yapılmaktadır. Gelişmiş ülkeler kategorisindeki ülkelerde ise, kavşaklarda geometri problemi olmadığından bir koridor boyunca sinyalizasyon kavşakların sinyalizasyon sistemini en efektif hale getirecek çalışmalar yapılarak kavşak performansını artırma yoluna gidilmektedir (Wang & Abdel-Aty, 2007, Wong, 1996, Wong & Yang, 1997). Yapılan mevcut araştırmalar göstermektedir ki gelişmiş ülkelerde standartlara uygun olarak inşa edilen kavşak geometrilerinde pek fazla sorun olmaması, kurallara uyan sürücü profilinin bulunması, kollardaki şerit kullanımının düzenli olması, herhangi bir dış nedenle ilk kalkış süresinde kayıpların az olması vb. nedenler araştırmacıları daha iyi bir sinyalizasyon tasarımı yaparak bisikletliler, yayalar ve taşıtların hareketlerini düzenlemeye ve karmaşa noktalarını azaltarak trafik kapasitesini maksimize etmeye itmiştir. Bu amaçla gelişmiş ülkelerdeki araştırmalar, kavşak geometrisini değiştirmek yerine daha fazla sayıda kavşağın işletimsel ve güvenlik performansını incelemek ve en iyilemek üzerine odaklanmıştır. Fakat sinyalizasyon kavşaklarında geometrik hatalar bulunan ülkeler için bu tür bir araştırma potansiyeli henüz mümkün değildir. Çünkü kavşak geometrisindeki hatalar, hatalı sürücü davranışları vb. sorunlar düzeltilmeden sinyalizasyon sisteminde yapılacak her türlü düzenleme, o kavşağın mevcut kapasitesini sadece bir süreliğine arttıracak ve yalnız o günü geçici olarak kurtarmaya yarayacaktır. Bu durum güvenlik, şerit kullanımını düzenleme, stresi azaltma vb. diğer sorunları çözmeye katkı sağlamayarak mevcut sorunların daha fazla görülmesini devam ettirecektir. Diğer yandan gelişmiş ülkeler tarafından önerilen sinyalizasyon kavşakları için geliştirilen gecikme, kuyruk uzunluğu, kapasite vb. hesap yöntemleri ve modellerin istediği parametrelerin şehiriçi kavşaklarında geometrik hatalar ve agresif sürücü davranışlarını bulunan ülkelerdeki mevcut gecikme ve kuyruk uzunluğunu ölçmede yetersiz kaldığı; gerçek saha sonuçları ile hesap sonuçları arasında ciddi farklılıklar olduğu görülmüştür. Bu durum çalışma kapsamında

önerilen Türkiye ve Türkiye gibi kavşak kollarında geometrik disiplinsizliklerin ve buna ilaveten hatalı sürüş davranışlarının bulunduğu ülkelere özgü gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinin geliştirilmesinin gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

### 3. Verilerin toplanması ve değerlendirilmesi

#### 3. Data collection and evaluation

#### 3.1. İncelenen kavşaklar ve verilerin elde edilmesi

##### 3.1. Examined intersections and data obtaining

Çalışma kapsamında önceki bölümde belirtilen problemlerden kaynaklı oluşan tüm sorunları irdeleyebilmek için pilot kent olarak, Antalya şehir merkezinde yer alan sinyalizasyon ve sinyalizasyon olmayan kavşaklar seçilmiş ve bu kavşaklardan çalışma için gerekli olan tüm veriler yapılan saha gözlemleri yardımıyla toplanmıştır. İncelenecek kavşakların seçilmesinde aşağıdaki kriterler dikkate alınmıştır:

- Yaklaşım kollarında kırmızı ışıpta illegal ek şerit oluşumu görülen,
- Dört kollu ve ana arterler üzerinde yer alan,
- Sinyalizasyon dönel veya dönel olmayan,
- Yaklaşım kollarında şerit sayısı ve genişliği problemi olan,
- Standartlara uygun olarak tasarlanmamış,
- Yaklaşım kollarında ve kavşak içerisinde karmaşanın fazla olduğu,
- Hatalı dönüş cebi tasarımları olan,
- Eşdüzey ve birbiriyle izole.

Çalışma kapsamında pilot kent olarak seçilen Antalya/Türkiye’de yukarıda belirtilen kriterleri sağlayan ve aynı yol ağı üzerinde yer alan altı adet kavşak belirlenmiştir. Bu kavşakların harita üzerindeki konumları Şekil 1’de gösterilmiştir. Belirlenen bu altı farklı kavşağa ait geometrik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.



**Şekil 1.** Çalışma kapsamında incelenen altı adet sinyalize kavşağın konumları

**Figure 1.** The locations of six signalized intersections examined within the scope of the study

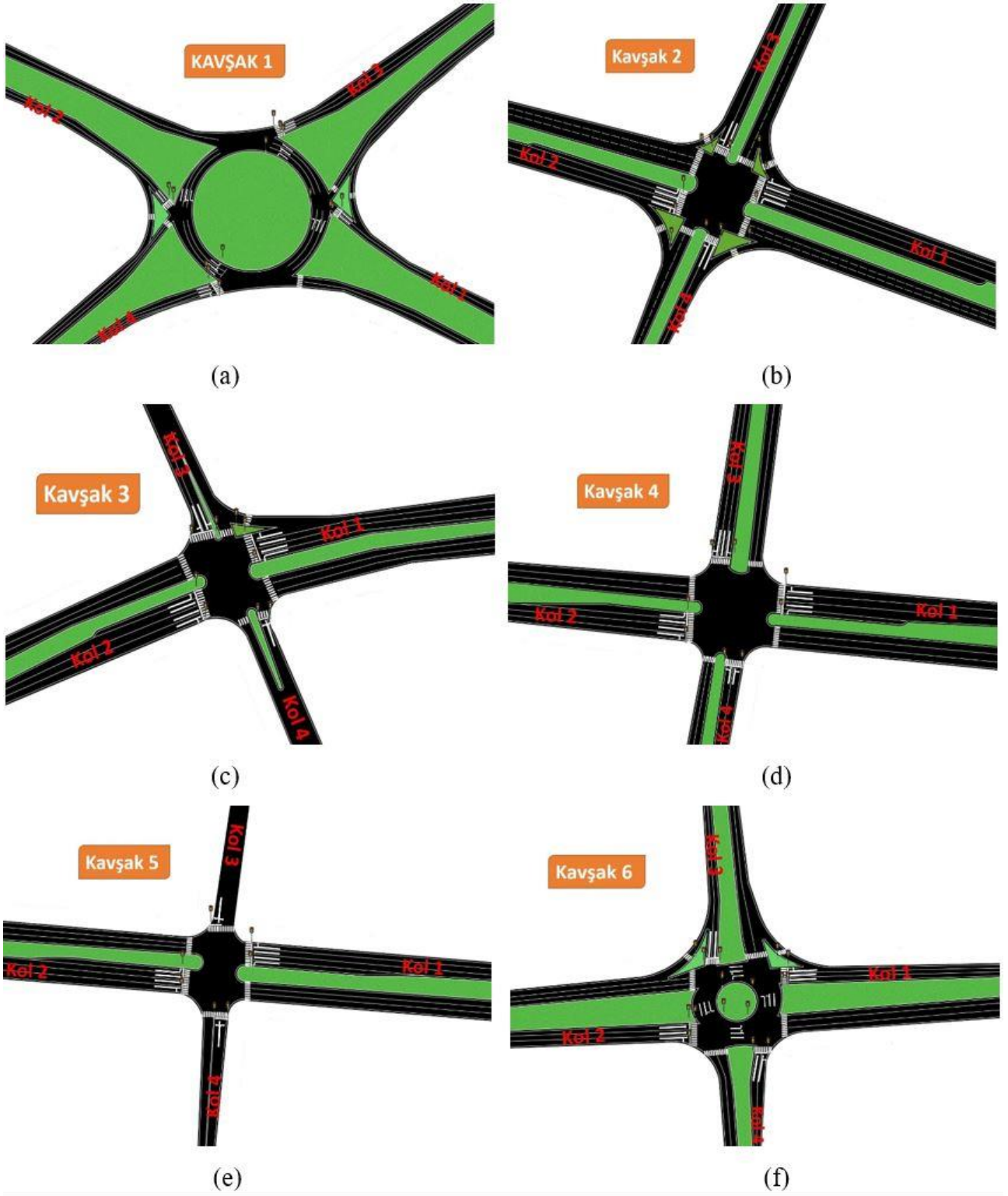
**Tablo 1.** Belirlenen altı farklı kavşağa ait geometrik özellikler

**Table 1.** Selected six different intersections' geometric features

Kavşak No	Kol No											
	1			2			3			4		
	$\Sigma_{sg}$	$YA_{(R/L)}$	$\Sigma_{pg}$	$\Sigma_{sg}$	$YA_{(R/L)}$	$\Sigma_{pg}$	$\Sigma_{sg}$	$YA_{(R/L)}$	$\Sigma_{pg}$	$\Sigma_{sg}$	$YA_{(R/L)}$	$\Sigma_{pg}$
1	6.8	2.60/2.90	10.75	7.3	1.50/1.00	10.25	11.05	1.60/1.15	14.4	10.3	2.00/1.40	14.3
2	15	0.30/0.50	17	12	0.70/0.55	14	7.5	0.5/0.5	8.95	7.3	0.70/0.65	9.1
3	14.2	0.60/0.55	16.1	12.9	0.60/0.55	14.8	11.1	0.35/0.35	11.25	5.5	0.40/0.40	6.75
4	13.4	1.00/0.95	16.1	12.65	0.80/0.80	15	9.2	0.50/0.45	10.75	6.75	2.6/0.40	10.25
5	12.65	0.40/0.40	14.2	13	0.35/0.35	14.45	5.2	0.3	5.8	7.25	0.45/0.25	8.4
6	10	0.80/0.80	12.2	11.4	0.9/0.8	13.7	9.45	0.6/1.00	12.1	8.8	0.50/0.75	10.5

Tablo 1'de geometrik özellikleri verilen bu kavşaklara ait şematik görseller ise Şekil 2'de verilmiştir. Tablo 1 ve Şekil 2'den de görüleceği üzere çalışma kapsamında, Türkiye'de en yaygın

olarak kullanan 4 kollu sinyalize (Kavşak No: 2,3,4 ve 5) ve 4 kollu sinyalize dönel (Kavşak No: 1 ve 6) kavşaklar çalışma kapsamında incelenmektedir.



**Şekil 2.** Altı farklı sinyalize kavşağın tasarım özelliklerine ait görseller  
**Figure 2.** Images of the design features of six different signalized intersections

Şekil 2’de görselleri verilen bu kavşaklara ait yapısal özellikler ve kollarda görülen ek şerit oluşumlarına ait sonuçlar ise Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’den de görüldüğü üzere altı kavşakta birbirlerinden farklı sayıda şerit sayıları mevcut olsa da kavşak kollarındaki yol geometrisinin olanak sağlaması nedeniyle illegal

ek şerit oluşumları görülmektedir. Örneğin Tablo 2 irdelendiğinde, 2 numaralı kavşağın 1 numaralı kolunda 2 adet illegal ek şerit oluşumu olduğu görülmektedir. İlegal ek şerit oluşumlarının ise 1 ve 4 numaralı şeritlerde meydana geldiği ve bu şeritlerin incelenen kavşak kolundaki bankete komşu olan 1 numaralı şerit ile sola dönüş için

kullanılan 4 numaralı şerit olduğu belirlenmiştir. Tablo 2 detaylı olarak incelendiğinde, illegal ek şerit oluşumlarının kolların orta şeritlerinde değil

daha çok iç ve dış kenarlarda yer alan şeritlerinde görüldüğü bilgisine ulaşılmaktadır.

**Tablo 2.** İncelenen altı farklı kavşağa ait yapısal özellikler ve kollarında görülen illegal ek şerit oluşumu  
**Table 2.** Structural features of examined six different intersections and illegal additional lane formation in their legs

Kavşak No	Kollardaki Toplam Şerit Sayısı				Kollardaki Ek Şerit Sayısı ( $L_N$ )			
	Kol-1	Kol-2	Kol-3	Kol-4	Kol-1	Kol-2	Kol-3	Kol-4
1	2	2	3	3	1 ( $L_1$ )	1 ( $L_1$ )	1 ( $L_1$ )	1 ( $L_1$ )
2	4	4	2	2	2 ( $L_1$ ve 4)	-	1 ( $L_1$ )	1 ( $L_1$ )
3	4	4	2	2	2 ( $L_1$ ve 4)	-	-	-
4	4	4	3	2	1 ( $L_1$ )	-	-	1 ( $L_1$ )
5	4	4	1	2	-	-	1 ( $L_1$ )	-
6	3	3	2	2	1 ( $L_1$ )	-	1 ( $L_1$ )	1 ( $L_1$ )

$L_N$ : Illegal ek şeritin görüldüğü şerit numarasıdır.

Altı adet kavşak belirlendikten sonra, bu kavşaklardaki geometri kaynaklı ve işletim özellikleri üzerinde etkili olan tüm eksiklikler ve sorunlar kavşak bazlı olarak belirlenmiştir (Tablo 3). Belirlenen bu eksikler ve görülen sorunların

özellikle kavşak kollarında illegal şerit oluşumuna ve şerit değiştirmelere neden olarak çalışmanın araştırma konusu olan ve mevcut denklemlerin tam olarak hesaplayamadığı gecikme ve kuyruk uzunluklarına neden olduğu tespit edilmiştir.

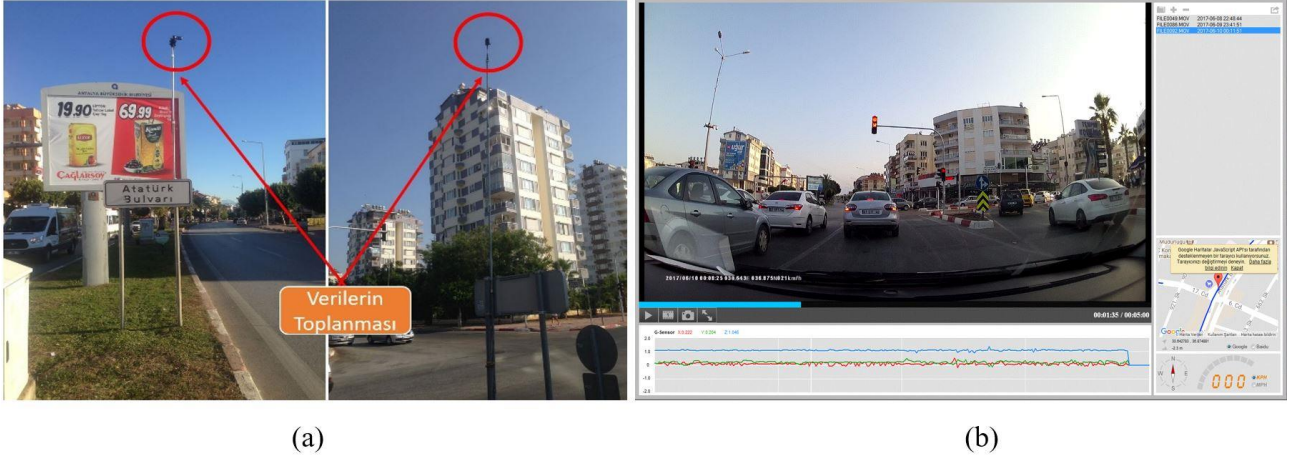
**Tablo 3.** İncelenen altı adet sinyalizasyon kavşakta belirlenen eksiklikler ve sorunlar  
**Table 3.** Identified deficiencies and problems in the examined six signalized intersections

No	Kavşaklarda Gözlemlenen Problemler	Görüldüğü Kavşaklar (Kavşak No)
1	Şerit genişlikleri birbirinden farklı ve standartlara uygun değildir.	1-2-3-4-5-6
2	Refüj tasarımları orantısız ve uygun geometriye sahip değildir.	3-4-5
3	Kol 2 için ek bir sağa dönüş cebi gerekmektedir.	3-4-6
4	Kol 3 için ek bir sağa dönüş cebi gerekmektedir.	1-3-4
5	Kol 4 için ek bir sağa dönüş cebi gerekmektedir.	1-3-4-6
6	Tüm kollardaki sağa dönüş cepleri için ek şerit gerekmektedir.	1-4-6
7	Kol 1'de ek şerit oluşmaktadır.	2-3-4-5
8	Kol 2 için sola dönüş ceplerinin uzunlukları yetersiz ve ek şerit oluşumuna neden olmaktadır.	2-3-4-5
9	Şerit genişlikleri kollarda ve dönel ada etrafında orantısız dağılmaktadır.	1-6
10	Tüm kollarda ek şerit oluşmaktadır.	1
11	Mevcut sağa dönüş ceplerinin tasarımı yanlış ve bu yüzden efektif değildir.	1-6
12	Kol 1 için sola dönüş ceplerinin uzunlukları yetersizdir ve bu yüzden ek şerit oluşmaktadır.	3-4
13	Kol 3'de ek şerit oluşmaktadır.	1-2-5
14	Kol 4'de ek şerit oluşmaktadır.	1-2-4-6
15	Ada içerisindeki fazla şerit genişliği karmaşaya sebep olmaktadır.	1
16	Refüj tasarımları orantısızdır ve uygun bir geometriye sahip değildir.	2
17	Kol 3'de hiçbir şerit çizgisi yoktur ve şerit genişliği oldukça fazladır.	5

İncelenen kavşakların hizmet performanslarının belirlenmesi amacıyla yapılacak analizlerde kullanılacak veriler, kavşaklarda trafik akımının en fazla olduğu durum göz önüne alarak elde edilmiştir. Bu amaçla saha verileri hafta içi

(Pazartesi ve Cuma günleri) zirve saatler olan sabah ve akşam saatlerinde (07:30-09:00 ve 17:30-19:00) ve her bir sinyalizasyon kavşak için iki haftada toplam dört gün olmak üzere video çekimler yapılarak elde edilmiştir (Şekil 3).





**Şekil 3.** İncelenen kavşaklardan (a) video kamera yardımıyla saha verilerinin (b) gezgin araç ile gecikme verilerinin elde edilmesi

**Figure 3.** Field delay data from the examined intersections (a) with the help of video camera (b) traveling vehicle method

Arazi gözlemleri tamamlandıktan sonra elde edilen görüntüler bilgisayar ortamına aktarılmış ve sayaç programları yardımıyla analizlerde kullanılmak üzere sayısal verilere dönüştürülmüştür. Yapılan video kamera çekimleri ve arazi gözlemlerinden, analizlerde kullanılmak üzere öncelikle her bir kavşak kolu için aşağıdaki veriler şerit bazlı incelemeler ile elde edilmiştir. Elde edilen bu bilgilerin analizler için önemli olanları Tablo 4'te özet olarak verilmiştir.

- Devre süresi ve faz süreleri (sn),
- Yeşil süre başlangıcı ve sonundaki kuyruk uzunlukları (taşıt),
- Şerit genişlikleri/sayısı,
- Ek şerit oluşumu ve ek şeridi kullanan taşıt sayıları,
- Trafik hacmi (taşıt/saat),
- Rastgele seçilen taşıtlar için kontrol gecikme değerleri (sn),
- Her bir kavşak kolu için toplam analiz süresi (saat).

### 3.2. Sinyalize kavşakların performanslarının değerlendirilmesi

#### 3.2. Evaluation of signalized intersections' performance

Araziden video kameralar yardımıyla toplanan ve sonrasında bilgisayar ortamına aktarılarak sayısal forma dönüştürülen veriler kullanılarak HCM (2010) tarafından önerilen performans ölçüm yöntemleri ile kavşakların mevcut performans

hesaplamaları yapılmıştır (Wong vd., 2006). Çalışmada ilk olarak Denklem 1 yardımıyla kavşakların kapasitesi hesaplanmıştır.

$$c = \sum s \frac{g}{C} \quad (1)$$

Burada;

- $c$  : Kapasite (taşıt/saat),
- $s$  : Doygun akım oranı,
- $g$  : Etkatif yeşil süre (sn),
- $C$  : Devre süresidir (sn).

Denklem 2 yardımıyla ise kavşaklardaki Hacim / Kapasite oranı kullanılarak kavşak kolunun ve kavşağın performansları belirlenmiştir.

$$X = \frac{v}{c} = \frac{v}{s \frac{g}{C}} = \frac{vC}{sg} \quad (2)$$

Burada;

- $X$  : Herhangi bir kavşak kolundaki ( $v/c$ ) oranı,
- $v$  : Herhangi bir kavşak kolundaki hacim (taşıt/saat),
- $s$  : Herhangi bir kavşak kolundaki doygun akım oranı (taşıt/saat),
- $g$  : Herhangi bir kavşak kolundaki efektif yeşil süre (saniye),
- $C$  : Devre süresi (saniye).

Çalışma kapsamında incelenen kavşaklardaki kontrol gecikmesi, Şekil 3(b)'de görüldüğü gibi Kebab vd. (2007)'nin çalışmasında olduğu gibi 2 yöntem (gezen gözlem aracı ve kamera verilerinden rastgele seçilen araçlar) birlikte kullanılarak ve iki yöntemden elde edilen gecikme sürelerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Bu

kapsamda ilk olarak, pilot bir araç zirve saatlerde incelenen kavşak kollarından her bir kol için minimum 25 maksimum 35 olmak üzere geçişler gerçekleştirmiştir. Yani gözlem aracı, incelenen kavşaklarda trafiğin içerisine karışarak bazen kuyruğun en önünde bazen ortasında bazen sonunda yer alacak şekilde bir dağılım gerçekleştirerek kavşak kollarındaki kontrol gecikmelerini belirlemeye çalışılmıştır. Bu kapsamda gezen gözlem aracı içerisine yerleştirilen araç içi kameradaki süreler ve cihazın GPS özelliği sayesinde gözlem aracının kavşak kollarından rastgele geçişine ait konum ve süre bilgileri kullanılarak hem yolculuk süreleri hem de kontrol gecikmelerine ait verileri elde edilmiştir. Sonrasında kamera görüntülerinden tüm kavşaklar

ve bu kavşaklardaki her bir kol için minimum 100 maksimum 150 araç olmak üzere rastgele araçlar seçilmiştir (o koldaki araç kompozisyonuna dikkat edilerek araçlar belirlenmiştir). Elde edilen gezen araç ve rastgele seçilen araçların kontrol gecikmesi değerlerinin ortalaması alınarak gecikme analizlerinde kullanılmıştır. Yapılan analizlerden incelenen her bir kavşak kolu için elde edilen performans sonuçları Tablo 4'te verilen şekilde elde edilmiştir. Tablo 4'ten de görüldüğü üzere incelenen altı farklı sinyalize kavşak türü için de kavşak kollarının hizmet düzeyleri ne yazık ki oldukça düşüktür. Bu sonuç, kavşaklarda geometrik ve sinyalizasyon açısından iyileştirmeler yapılması gerektiğini oldukça net şekilde ortaya koymaktadır.

**Tablo 4.** İncelenen altı farklı sinyalize kavşağa ait performans sonuçları  
*Table 4. Performance results of examined six different signalized intersections*

Kavşak No	Kol No	Ek (İllegal) Şerit No	Toplam Şerit Sayısı (Ek Şeritler Dahil)	Devre Süresi (sn.)	Kuyruk Uzunluğu (taşıt/devre)	Hacim/Kapasite	Kontrol Gecikmesi (sn.)	(LOS)
1	1	1	3	157	27	0.76	163.9	F
	2	1	3		21	0.91	113.3	F
	3	1	4		32	0.84	90.3	F
	4	1	4		32	0.83	106.3	F
2	1	2	6	210	7	0.63	96.9	F
	2	0	4		11	0.70	114.3	F
	3	1	3		9	0.57	125.4	F
	4	1	3		4	0.73	109.3	F
3	1	2	6	160	13,2	0.58	85.5	F
	2	0	4		10,5	0.91	96.5	F
	3	0	2		11,5	0.84	100.6	F
	4	0	2		7,5	0.57	123.4	F
4	1	1	5	144	6,2	0.69	93.8	F
	2	0	4		6	1.07	92.0	F
	3	0	3		5	0.62	103.8	F
	4	1	3		6	0.39	104.6	F
5	1	0	4	140	7	0.78	91.2	F
	2	0	4		9	1.05	80.4	F
	3	1	2		6	0.93	103.1	F
	4	0	2		3	0.54	104.4	F
6	1	1	4	90	4	0.77	52.7	D
	2	0	3		5	0.76	53.3	D
	3	1	3		4	0.38	43.1	D
	4	1	3		4	0.80	62.8	E

LOS: Hizmet seviyesi.

#### 4. Metot

##### 4. Method

Çalışma kapsamında doygun altı ve doygun üstü akımlar için kavşaklarda gecikme değeri (kontrol gecikmesi) ve her bir kol için devre başına ortalama kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) hesaplamalarında

sıkça kullanılan iki farklı yöntem seçilmiştir. Burada ana amaç, arazi gözlemleri ile kavşaklardan elde edilen mevcut gecikme değeri ve kuyruk uzunlukları ile seçilen bu yöntemler ile hesaplanacak gecikme değeri ve kuyruk uzunluklarını karşılaştırmaktır. Böylece, literatürde mevcut olan bu yöntemlerin pilot kent

olarak seçilen Antalya şehiriçi yol ağlarında yer alan kavşaklardaki gecikme ve kuyruk uzunluğunu hesaplamada ne kadar efektif olup olmadığı (ne kadar doğru hesapladığı) kolaylıkla görülebilecektir. Bu amaçla gecikme (ortalama kontrol gecikmesi) ve kuyruk uzunluğu hesaplarında kullanılmak üzere sırasıyla [Highway Capacity Manual \(2010\)](#) ve [Avustralya \(Akçelik\) \(1980\)](#) yöntemleri seçilmiştir.

#### 4.1. HCM 2010'a göre gecikme ve kuyruk uzunluğu hesabı

4.1. Calculation of delay and queue length according to HCM 2010)

HCM 2010'a göre gecikme parametresi yavaşlama, durma ve hızlanma gecikmesi olarak isimlendirilen üç farklı bileşenden oluşmaktadır. Bu üç bileşenin toplamı ise kontrol gecikmesini oluşturmaktadır. [HCM \(2010\)](#)'a göre taşıt başına kontrol gecikmesi ( $d$ ) aşağıda verilen Denklem 3 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$d = d_1 + d_2 + d_3 \quad (3)$$

Burada;

$d$  : Taşıt başına kontrol gecikmesi (sn/taşıtlı),  
 $d_1$  : Uniform varışlar kabulüyle uniform gecikme (sn/taşıtlı),  
 $d_2$  : Rastgele varışların ve doymuş akımdaki kuyrukların etkisini açıklamak için eklenik gecikme değeridir. Burada gecikme bileşeni analiz periyodunun başlangıcında, her bir şerit grubu için başlangıçta kuyruk bulunmadığını varsaymaktadır (sn/taşıtlı),  
 $d_3$  : Başlangıç kuyruk gecikmesi (sn/taşıtlı).

Uniform gecikme ( $d_1$ ) aşağıda verilen Denklem 4 yardımıyla, eklenik gecikme ( $d_2$ ) ise Denklem 5 yardımıyla ve başlangıç kuyruk gecikmesi ( $d_3$ ) ise Denklem 6 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$d_1 = \frac{0.5 \times C \times (1 - \frac{g}{C})^2}{1 - [\min(1, X) \times \frac{g}{C}]} \quad (4)$$

Burada;

$C$  : Devre süresi (sn),  
 $g$  : Efektif yeşil süre (sn),  
 $X$  : hacim/kapasite oranı (doymuşluk derecesi).

$$d_2 = 900 \times T \times [(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 \times K \times L \times X}{C \times T}}] \quad (5)$$

Burada;

$T$  : Analiz periyodu (saat),  
 $K$  : Eklenik gecikme düzeltme faktörü (Ön zamanlı ise=0,5),  
 $L$  : Ölçüm düzeltme faktörü (İzole kavşak ise=1),  
 $c$  : Şerit grubu kapasitesi (taşıtlı/saat),  
 $X$  : hacim/kapasite oranı (doymuşluk derecesi).

$$d_3 = \frac{3600}{v \times T} \times \left( t_A \times \frac{Q_b + Q_e - Q_{eo}}{2} + \frac{Q_e^2 + Q_{eo}^2}{2 \times c_A} - \frac{Q_b^2}{2 \times c_A} \right) \quad (6)$$

$Q_e = Q_b + t_A \times (v - c_A)$   
eğer  $v \geq c_A$  ise  $Q_{eo} = T \times (v - c_A)$   
 $t_A = T$   
eğer  $v < c_A$  ise  $Q_{eo} = 0,0$  taşıtlı  
 $t_A = Q_b / (c_A - v) \leq T$

Burada;

$v$  : Akım oranı talebi (taşıtlı/saat),  
 $t_A$  : Analiz periyodu boyunca karşılaşılmayan talebin düzeltme süresi (saat),  
 $c_A$  : Ortalama şerit grubu kapasitesi (taşıtlı/saat),  
 $Q_b$  : Analiz periyodunun başlangıcında mevcut olan mevcut başlangıç kuyruğu (taşıtlı),  
 $Q_e$  : Analiz periyodunun sonundaki mevcut başlangıç kuyruğu (taşıtlı),  
 $Q_{eo}$  : Analiz periyodunun sonundaki mevcut başlangıç kuyruğu eğer  $v \geq c_A$  ve  $Q_b = 0.0$  (taşıtlı).

[HCM \(2010\)](#)'a göre kavşak kollarındaki taşıt gelişlerinin rastgele ve düzensiz olduğu durum için kollarındaki kuyruk uzunluğu Denklem 7 ile hesaplanabilmektedir.

$$N_f = q_r \times r + q_g \times (t_f - d_a) \quad (7)$$

Burada;

$N_f$  : Kuyruk uzunluğu (taşıtlı/devre),  
 $q_r$  : Efektif kırmızı sürede gelen akım oranı (taşıtlı/sn),  
 $q_g$  : Efektif yeşil sürede gelen akım oranı (taşıtlı/sn),  
 $d_a$  : İvmelenme-ters ivmelenme gecikmesi (sn),  
 $t_f$  : Servis süresi (sn),  
 $r$  : Efektif kırmızı süredir (sn).

## 4.2. Avustralya (Akçelik)'e göre gecikme ve kuyruk uzunluğu hesabı

4.2. Calculation of delay and queue length according to Australia/Akçelik

Akçelik yöntemine göre gecikme ise aşağıda verilen Denklem 8 ile hesaplanmaktadır. Bu çalışmada Akçelik (1980) tarafından önerilen sadeleştirilmiş gecikme denklemi yerine hesaplamalarda bu çalışma kapsamında gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği görülen sadeleştirmeden önceki yani doygun altı ve üstü akımlara göre ayrı hesap yapan denklemler kullanılmıştır.

$$D_u = \begin{cases} \frac{q \times c \times (1-u)^2}{2(1-y)} & \text{eğer } X < 1 \\ 0.5 \times q \times r & \text{eğer } X \geq 1 \end{cases} \quad (8)$$

$$D_0 = N_0 \times X \\ d = D_u + D_0$$

Burada;

$d$  : Toplam gecikme (sn),  
 $D_u$  : Uniform gecikme (sn),  
 $D_0$  : Doygunüstü akım gecikmesi (sn),  
 $q \times c$  : Her devre süresi içerisinde gelen ort. taşıt sayısı ( $q$ =taşıtlar/sn biriminde akım),  
 $C$  : Devre süresi (sn),  
 $u$  : Yeşil süre oranı ( $g/C$ ),  
 $y$  : Akım oranıdır ( $q/s$ ).

Avustralya (Akçelik) yöntemine göre taşıt başına ortalama gecikme değerini hesaplayabilmek amacıyla ilk olarak bir trafik akımından kaynaklı olarak oluşan kuyruk uzunluğu değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu yöntemle göre kuyruk uzunluğu Denklem 9 yardımıyla hesaplanabilmektedir (Akçelik, 1980):

$$N_0 = \frac{Q \times T_f}{4} \left( Z + \sqrt{Z^2 + \frac{12(X+X_0)}{Q \times T_f}} \right) \quad (9)$$

Burada;

$N_0$  : Taşıtlar cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu (birden fazla şerit var ise tüm şeritlerdeki toplam taşıt sayısıdır),  
 $Q$  : Kapasite (taşıtlar/saat),  
 $T_f$  : Akım süresi (saat cinsinden trafik hacim değerinin elde edildiği süre),  
 $Q \times T_f$  :  $T_f$  süresi boyunca geçebilecek maksimum taşıt sayısı,  
 $X$  : Hacim/kapasite oranı (doygunluk derecesi),  
 $Z$  :  $X - 1$ ,  
 $x_0$  : Kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu en büyük doygunluk derecesidir ve  $X_0 > X$  ise  $N_0$  değeri 0 olmaktadır.

Gecikme yönteminde olduğu gibi kuyruk uzunluğu için de Akçelik (1980) tarafından önerilen sadeleştirilmiş kuyruk uzunluğu denklemi yerine doygun üstü ve altı akımları ayrı ayrı inceleyen ve aşağıda verilen denklemler kullanılmıştır. Bu yöntemle göre Denklem 10'da verilen kuyruktaki ortalama taşıt sayısı ( $N_r$ ), Denklem 11 ve Denklem 12'nin toplamı ile elde edilmektedir.

$$N_r = N_u + N_0 \quad (10)$$

$$N_u = \begin{cases} q \times r & \text{eğer } X < 1 \\ Q \times r & \text{eğer } X \geq 1 \end{cases} \quad (11)$$

$$N_0 = \frac{Q \times T_f}{4} \left( Z + \sqrt{Z^2 + \frac{12(X+X_0)}{Q \times T_f}} \right) \quad (12)$$

Burada;

$N_r$  : Kuyruktaki ortalama taşıt sayısı,  
 $N_u$  : Uniform bileşen,  
 $Q$  : Kapasite (taşıtlar/sn),  
 $q$  : Akım oranı (taşıtlar/sn),  
 $N_0$  : Ortalama doygunüstü akım için taşıt cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu (birden fazla şerit var ise tüm şeritlerdeki toplam taşıt sayısıdır),  
 $T_f$  : Akım süresi (saat cinsinden trafik hacim değerinin elde edildiği süre),  
 $Q \times T_f$  :  $T_f$  süresi boyunca geçebilecek maksimum taşıt sayısı,  
 $X$  : Hacim/kapasite oranı (doygunluk derecesi),  
 $Z$  :  $x - 1$ ,  
 $x_0$  : Kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu en büyük doygunluk derecesidir ve  $X_0 > X$  ise  $N_0$  değeri 0 olmaktadır.

## 5. Verilerin analizi, bulgular ve tartışma

### 5.1. Analysis of data, findings and discussion

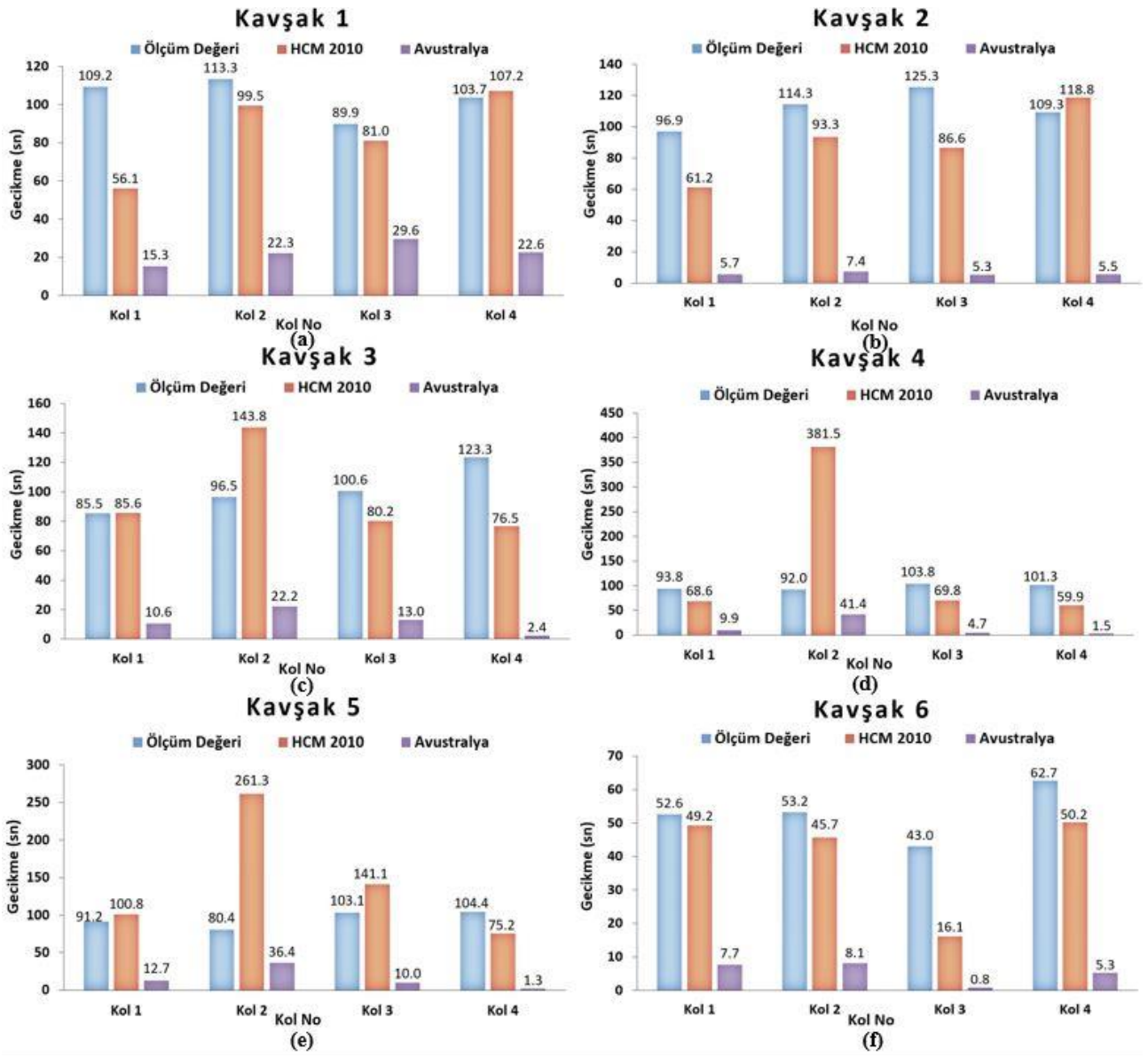
İncelenen altı farklı sinyalizasyon kavşağına ait mevcut gecikme (sn/taşıtlar) ve kuyruk uzunluğu (taşıtlar/devre) değerleri ile seçilen iki yöntem kullanılarak hesaplanan değerler sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te detaylı olarak verilmektedir. Şekil 4 incelendiğinde gecikme değeri için seçilen yöntemler kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen değerler ile arazi gözlemleri ile elde edilen ortalama değerler arasında ciddi farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca seçilen yöntemlerin her birinin farklı kavşaklarda farklı sonuçlar verdiği, yani farklı kavşaklarda farklı yöntemlerin gerçek değere daha yakın yani hata miktarı daha düşük sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Fakat incelenen altı farklı sinyalizasyon kavşağındaki ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE) değerlerinin altı kavşak için ortalaması alındığında gecikme için ortalama en düşük ortalama mutlak yüzdesel hataya (MAPE %)

hataya (%64.5) sahip olan yöntemin HCM 2010 olduğu tespit edilmiştir. Bu da seçilen pilot kentte incelenen kavşaklardan elde edilen sonuçlara göre, Türkiye’de sinyalizasyon kavşaklarındaki taşıt gecikmelerini seçilen iki farklı yöntem içerisinde en iyi HCM 2010 yönteminin hesapladığını göstermiştir. Şekil 4 daha detaylı irdelendiğinde, ortalama gerçek değerler ile hesaplanan değerler arasındaki bu yüksek yüzdesel hata miktarı seçilen gecikme yöntemlerinin Türkiye’deki sinyalizasyon kavşakları için doğrudan kullanılabilir (efektif) olmadığını göstermiştir. Bu sonuç, Türkiye’ye özgü yeni bir yöntemin gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır. Çünkü önerilen mevcut hesap yöntemlerinin içerdiği parametreler incelendiğinde bu parametreler içerisinde illegal şerit oluşumu ve buna bağımlı/bağımsız nedenlerle görülen hatalı sürücü davranış faktörü gibi gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde görülen farklı faktörleri kapsamadığı görülmektedir. Çünkü kavşak kollarındaki geometri bozuklukları ve buna ek olarak hatalı davranışlar gösteren sürücü profili bir araya geldiğinde bu durum, kavşak kollarında kontrolsüz şerit değiştirmeler, en öne geçme isteği vb. nedenlerle ilk kalkışta kayıplar, geriye doğru şok dalgası etkisi vb. diğer olumsuz durumlara neden olabilmektedir. Özellikle bu sorunların kavşağın ana kollarında görülmesi sorunların büyüklüğünü daha da arttırmaktadır. Özetle oluşan bu durum saha gözlemindeki gecikme değerlerine yansımakta fakat önerilen yöntemler içerisinde bulunmayabilmektedir.

Şekil 4’te görülen analiz sonuçları incelendiğinde bazı kavşaklardaki kollarda sahadan gözlem yoluyla hesaplanan ortalama gecikme değerleri ile hesaplanan değerlerin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği de görülmektedir. Bu durum Şekil 5’te verilen kuyruk uzunluğu değerleri için de geçerlidir. Bu durum üzerinde aynı anda bir veya birkaç parametrenin etken olduğu söylenebilmektedir. Örneğin illegal ek şerit

oluşmaması, sürücülerin sabırsız davranmaması ve kurallara riayet etmesi, ağır araç oranı, ilk kalkış kaybının yöntemlerde öngörülenlere yakın olması, kol içerisinde ve önünde araç parklanması olmaması gibi bu nedenlerin başlıcaları arasında gösterilebilmektedir. Her ne kadar bazı kollarda yakın değerler gözlemlense de kavşaklardaki sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde hesap yöntemleri ile saha gözlemleri ile elde edilen ortalama gecikme değerleri arasında yine de önemli farklılıklar olduğu anlaşılmaktadır (kuyruk uzunluğu değerleri için de geçerlidir). Bu çalışma kapsamında da literatürde yaygın şekilde olduğu gibi kavşaklardaki gecikme ve kuyruk uzunluğu hesaplamaları bir bütün olarak irdelenmiştir. Saha gözlemleri ile elde edilen ortalama değerler ile hesap değerleri arasında bu derece önemli farklılıklar çıkması üzerinde illegal ek şerit oluşumu ve buna ilaveten hatalı sürücü davranışları ve bu iki ana parametrenin tetiklediği ve yukarıda belirtilen birçok karmaşa durumunun meydana gelmesi ve mevcut hesap yöntemlerinin bunu tam olarak değerlendirememesinin etkisinin olduğu öngörülmektedir.

Kavşak türüne göre ölçüm ve hesap yöntemleri arasındaki gecikme değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde, dört kollu sinyalizasyon dönel kavşaklardaki (Kavşak No: 1 ve 6) saha ölçüm değerleri ile HCM 2010 değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu sonuca göre HCM 2010 yönteminin dört kollu sinyalizasyon dönel kavşaklardaki gecikme değerlerini, dört kollu sinyalizasyon kavşaklarına (Kavşak No: 2,3,4 ve 5) göre daha yakın şekilde hesapladığı sonucuna ulaşılmaktadır. Bu sonuç, HCM 2010 yönteminin ülkemizde geometri ve işletim problemleri olan dört kollu sinyalizasyon dönel kavşaklarda, dört kollu sinyalizasyon kavşaklarına göre daha doğru hesaplamalar yaptığını göstermektedir.



**Şekil 4.** İncelenen altı farklı sinyalize kavşağa ait ölçülen ve hesaplanan gecikme değerlerinin karşılaştırılması (sn/taşıt)

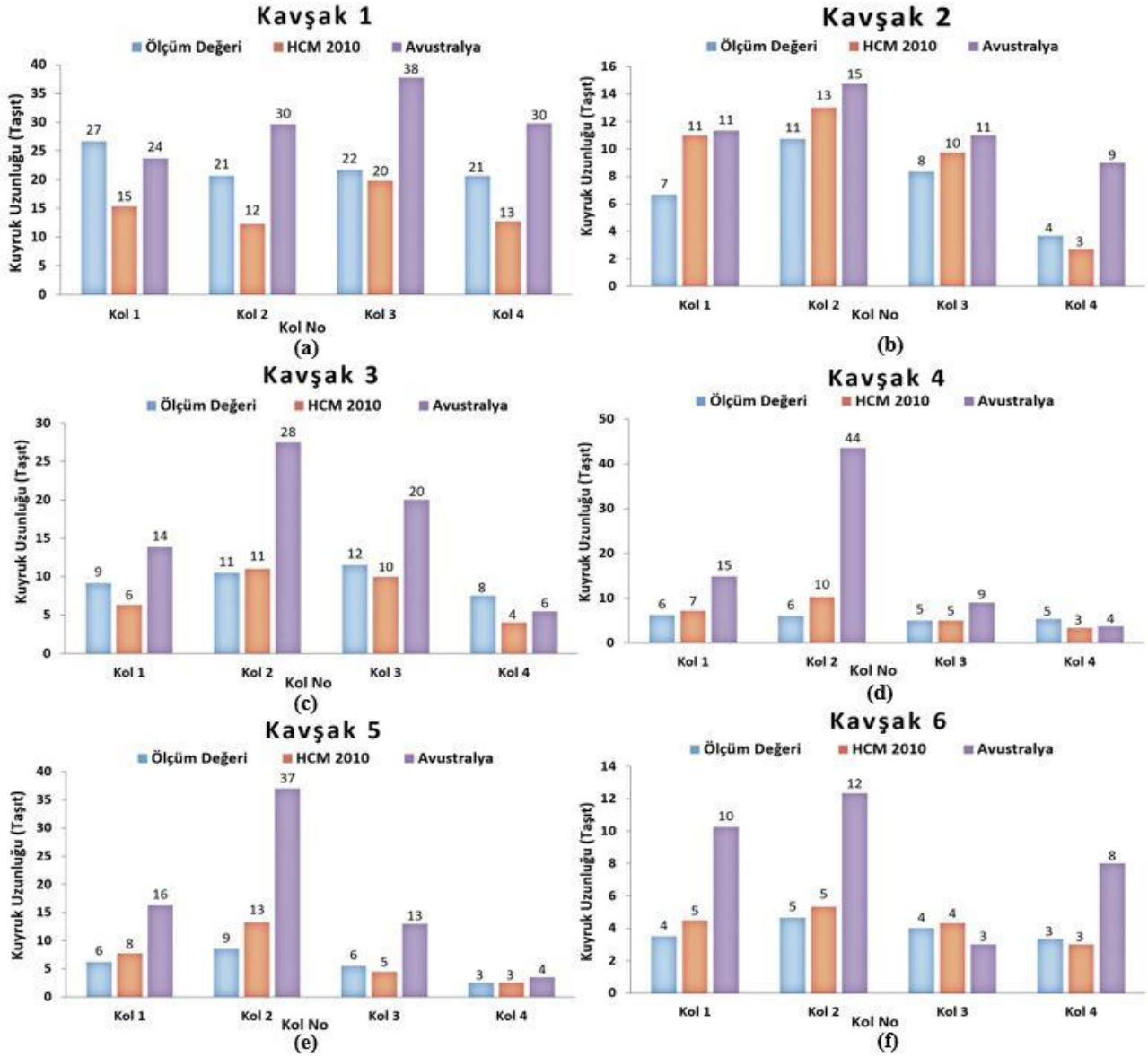
**Figure 4.** Comparison of the measured and calculated delay values of six different signalized intersections (sec/vehicle)

Benzer şekilde Şekil 5 incelendiğinde ise kuyruk uzunluğu hesabı için seçilen yöntemler kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen hesap değerleri ile arazi gözlemleri ile elde edilen ortalama gerçek değerler arasında gecikme değerlerine göre daha az farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca seçilen yöntemlerin her birisinin gecikmede olduğu gibi yine farklı kavşaklarda farklı sonuçlar verdiği, yani farklı kavşaklarda farklı yöntemlerin gerçek değere daha yakın yani hata miktarı daha düşük sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Fakat incelenen altı farklı sinyalize kavşaktaki ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE) değerlerinin altı kavşak için ortalaması alındığında kuyruk uzunluğu için ortalama en düşük ortalama mutlak yüzdesel hataya (MAPE %) hataya (%40.9)

sahip olan yöntemin HCM 2010 olduğu tespit edilmiştir. Seçilen pilot kentte incelenen kavşaklardan elde edilen sonuçlara göre, Türkiye’de sinyalize kavşak kollarındaki kuyruk uzunluklarının seçilen yöntemler içerisinde en iyi HCM 2010 yönteminin hesapladığını göstermiştir. Şekil 5’te görülen araziden ölçülen ortalama gerçek değerler ile seçilen yöntemler kullanılarak elde edilen hesap değerleri detaylı olarak incelendiğinde, ölçülen ortalama değerler ile hesaplanan değerler arasındaki bu yüksek yüzdesel hata miktarı seçilen kuyruk uzunluğu yöntemlerinin de gecikmede olduğu gibi Türkiye’deki sinyalize kavşaklar için doğrudan kullanılabilir (efektif) olmadığını göstermiştir. Elde edilen bu sonuç, gecikme hesabında olduğu

gibi kuyruk uzunluğu hesabı içinde Türkiye'ye özgü yeni yöntemler geliştirilmesinin gerekliliğini açıkça ortaya koymakta ve bu çalışmanın amacını desteklemektedir. Hem gecikme hem de kuyruk uzunluğu için hesaplanan bu farklılıklar, Türkiye vb. yol ve sürücü karakteristiklerine sahip ülkelerde zaman zaman illegal ek şerit oluşumunun olduğu ve bu durumun agresif sürücü profili ile mevcut trafik akım karakteristiğini değiştirdiği kavşaklarda en doğru gecikme ve kuyruk uzunluğu

hesabını yapacak; içerisinde bu tür ülkelerdeki yukarıda belirtilen özel durumları kapsayacak yeni bağıntıların geliştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Özellikle bu tür ülkelerde, içerisinde o ülkenin sinyalize kavşaklarında yaygın olarak görülen her türlü parametreyi (sürücü profili, hatalı geometri, kavşak içi parklanma, hatalı devre süresi tasarımı vb.) de içeren özgün yöntemlerin geliştirilmesi doğru hesaplamalar yapılabilmesi için oldukça önemlidir.



**Şekil 5.** İncelenen 6 farklı sinyalize kavşağa ait ölçülen ve hesaplanan kuyruk uzunluğu değerlerinin karşılaştırılması (taşıt)

**Figure 5.** Comparison of the measured and calculated queue length values of examined 6 different signalized intersections.

Kavşak türüne göre ölçüm ve hesap yöntemleri arasındaki kuyruk uzunluğu değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde, dört kollu sinyalize dönel kavşaklardaki (Kavşak No: 1 ve 6) ve dört kollu sinyalize kavşaklardaki (Kavşak No: 2,3,4 ve 5)

saha ölçüm değerleri ile HCM 2010 ve Avustralya yöntemine ait hesap değerlerinin birbirinden farklı olduğu ve bunun kavşak türü ile doğrudan bir ilişkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır.

## 6. Sonuçlar ve öneriler

### 6. Conclusions

Çalışma kapsamında Türkiye'deki şehiriçi kavşak kollarında mevcut olan geometrik disiplinsizlikler tanısız bazlı olarak incelenmiştir. Bu amaçla öncelikle sinyalizasyon kavşaklardaki mevcut geometri problemlerinin olduğu kavşaklardaki işletim performansları incelenmiştir. Sinyalizasyon kavşak kollarındaki hizmet seviyelerinin (LOS) durumu kavşakların mevcut (geometrik disiplinsizlik, karmaşa ve ek şerit oluşumu görülen) durumuna göre değerlendirildiğinde, 6 numaralı kavşağın D ve geriye kalan diğer tüm sinyalizasyon kavşakların ise en kötü hizmet seviyesi olan F hizmet seviyesine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre kavşaklarda illegal ek şerit oluşumlarının görülmesinin, kavşakların mevcut işletim performanslarını arttırmak yerine daha da kötüleştirdiğini görülmüştür. Yani özetle, kavşak kollarında görülen illegal ek şerit oluşumlarının bile kavşaklarda iyi bir hizmet seviyesi görülmesi üzerinde pozitif bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Başka bir açıdan değerlendirildiğinde ise, Türkiye'deki şehiriçi sinyalizasyon kavşakların daha iyi bir hizmet seviyesine sahip olması için ek şerit oluşumuna izin verilerek kavşak kollarındaki şerit sayılarının artırılmasının, bu kavşakların işletim performanslarında bir artışa değil aksine bazı kavşaklarda taşıt hareketlerinde karmaşaya sebep olduğu görülmüştür. İncelenen kavşaklar daha önce de belirtildiği üzere Antalya şehir merkezinde yer alan ana arterler üzerinde yer almakta olup bugüne kadar kavşaklardaki işletim performanslarını arttırmak için yetkililerce sinyal planları üzerinde birçok kez değişiklik yapılmıştır. Fakat ne kadar çok ve farklı değişiklik yapılmış olsa da yapılan hiçbir değişiklik bu kavşaklarda düşük hizmet seviyelerinin görülmesi sorununu çözememiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, incelenen bu tür geometrik disiplinsizliklerin olduğu kavşaklarda yapılacak farklı sinyal planlamalarının tek başına sorunu bu çözemeyeceğini tekrardan göstermiştir. Bu sorunu çözmek için kavşağı kullanan sürücülerin kurallara uyma, agresiflik vb. karakteristik özelliklerine göre kavşak geometrisinde tanısız bazlı düzenlenmeler yapılmasının gerekliliği oldukça açıktır.

Kavşakların mevcut performanslarının belirlenmesinden sonraki adımda ise yine çalışmanın amaçlarında da değinildiği üzere literatürde mevcut olan ve gelişmiş ülkeler tarafından şehiriçi kavşaklardaki mevcut durum göz önüne alınarak önerilen gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinin, Türkiye gibi şehiriçi kavşaklarında geometri problemleri

bulunan ülkeler için doğru sonuçlar vermeyeceğinin ispatlanması hedeflenmiştir. Bu amaçla kavşaklarda doygun altı ve doygun üstü durumlar için gecikme ve kuyruk uzunluğu hesabı yapan ve literatürde çok kullanılan yöntemlerden olan iki farklı yöntem (HCM 2010 ve Avustralya) seçilmiştir. Seçilen bu yöntemler kullanılarak yapılan hesaplamalardan elde edilen değerler ile arazi gözlemleri ile elde edilen gerçek değerler arasında ciddi farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca seçilen yöntemlerin her birinin farklı kavşaklarda farklı sonuçlar verdiği, yani farklı kavşaklarda farklı yöntemlerin gerçek değere daha yakın yani hata miktarı daha düşük sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Fakat incelenen altı farklı sinyalizasyon kavşaktaki ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE) değerlerinin altı kavşak için ortalaması alındığında gecikme için ortalama en düşük hataya (%64.5) sahip olan yöntemin HCM 2010, kuyruk uzunluğu hesabı içinse ortalama en düşük hataya (%40.9) sahip olan yöntemin ise yine HCM 2010 olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre seçilen kuyruk uzunluğu yöntemlerinin seçilen gecikme yöntemlerine göre kavşaklardaki mevcut durumu daha düşük hata ile ölçtüğü görülse de yine de bu hata miktarlarının oldukça yüksek olması seçilen yöntemlerin Türkiye'deki sinyalizasyon kavşaklar için doğrudan kullanılabilir (efektif) olmadığını göstermektedir. Bu durum, bu çalışma kapsamında önerilen Türkiye ve Türkiye gibi kavşak kollarında geometrik disiplinsizliklerin bulunduğu ülkelere özgü gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinin geliştirilmesinin gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Bu çalışma büyük ölçekteki bir çalışma dizisinin mevcut sorunu hesapla ortaya koyan ilk parçasıdır. Bu çalışmanın devamı niteliğindeki bir diğer çalışmada ise, gelişmekte olan ülkeler adına pilot ülke olarak seçilen Türkiye için yeni modifiye hesap yöntemleri oluşturulacaktır. Sonrasındaki çalışmada ise kavşaklardaki mevcut geometrileri Türkiye'deki mevcut duruma göre yeniden düzenleyen (geometrik tasarım yapan) bir bilgisayar programı geliştirilecektir. Bu çalışmanın gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelere sorunu bilimsel olarak ortaya koyması, bu çalışmanın devamı niteliğindeki ve bu çalışma grubunun parçaları olan diğer çalışmalar için önemli bir bilimsel katkı olacağı düşünülmektedir.

### Teşekkür

#### Acknowledgment

FDK-2017-2457 kodlu bu proje Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmanın ortaya



çıkmasında verdiği destekten ötürü Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

### **Yazar katkısı**

#### *Author contribution*

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

### **Etik beyanı**

#### *Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarları, mevcut çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

### **Çıkar çatışması beyanı**

#### *Conflicts of interest*

Mevcut çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Kaynaklar**

#### *References*

Akçelik, R. (1980). Time-dependent expressions for delay, stop rate and queue length at traffic signals. *Internal Report AIR 367-1*, Australian Road Research Board, Vermont South, Australia.

Al-Ghamdi, A. S. (2003). Analysis of traffic accidents at urban intersections in Riyadh. *Accident Analysis & Prevention*, 35(5), 717–724. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(02\)00050-7](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(02)00050-7)

Arıkan Öztürk, E., Çubuk, M. K., Arslan, D., & Yüksel, E. (2007). Modern dönel kavşakların kapasite ve güvenlik yönünden incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4), 917–926.

Aydar, R. (2011). *Karayolu kavşaklarının tipine karar verme sürecinde kapasite, güvenlik ve maliyet (KGM) parametrelerini optimize eden bir modelin geliştirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

Aydemir, T. (2006). *Başlangıç-son matrisinin İzmir'deki dönel kavşak giriş kapasitesi üzerindeki etkisinin belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

Aydın, M. M. (2017). *Şehiriçi kavşaklardaki geometrik disiplinsizliğin optimize edilerek irdelenmesi* [Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

Aydın, M. M., Yıldırım, M. S., Saphioğlu, M., & Ünal, A. (2017). Şehiriçi yollardaki geometri

problemlerinin sınıflandırılması ve çözüm önerileri geliştirilmesi. *II. Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi* (pp.1240-1246), Antalya.

Bao, S., & Boyle, L. (2009). Age-related differences in visual scanning at median-divided highway intersections in rural areas. *Accident Analysis and Prevention*, 41(1), 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.10.007>

Braitman, K., Kirley, B., Ferguson, S., & Chaudray, N. (2007). Factors leading to older drivers' intersection crashes. *Traffic Injury Prevention*, 8(3), 65–72. <https://doi.org/10.1080/15389580701272346>

Devin, A., Candappa, N., Corben, B., & Logan, D. (2011). Designing safer roads to accommodate driver error. *Project 09-006RSC, Curtin–Monash Accident Research Center*, Curtin University, Bentley, Perth, Western Australia.

Elvik, R. (2003). Effects of road safety of converting intersections to roundabouts: review of evidence from non-us studies. *Transportation Research Record*, 1847, 1–10. <https://doi.org/10.3141%2F1847-01>

Flannery, A. (2001). Geometric design and safety aspects of roundabouts. *Transportation Research Record*, 1751(2001), 76–81. <https://doi.org/10.3141%2F1751-09>

Gross, F., Lyon, C., Persaud, B., & Srinivasan, R. (2013). Safety effectiveness of converting signalized intersections to roundabouts. *Accident Analysis & Prevention*, 50(2013), 234–241. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.04.012>

Günay, B., Aydın, M. M., & Akgöl, K. (2013). Modern dönel kavşaklara sorunsuz bir dönüşümün bilimsel metodolojisi, *Karayolu 3. Ulusal Kongresi (YTMK)* (pp. 345–358), Ankara.

Highway Capacity Manual (HCM) (2010). *Transportation Research Board of the National Academies*, Washington, D.C.

Keay, L., Jasti, S., Munoz, B., Turano, K., Munro, C., & Duncan, D. (2009). Urban and rural differences in older drivers' failure to stop at stop signs. *Accident Analysis and Prevention*, 41(5), 995–1000. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.06.004>

Kebab, W., Dixon, M., & Abdel-Rahim, A. (2007). Field measurement of approach delay at signalized intersections using point data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2027(2007): 37–44. <https://doi.org/10.3141%2F2027-05>

Persaud, B. N., Retting, R., Garder, P., & Lord, D. (2001). Observational before–after study of u.s.

- roundabout conversions using the empirical bayes method. *Transportation Research Record*, 1751(2001), 1–8. <https://doi.org/10.3141%2F1751-01>
- Saplıoğlu, M., & Karaşahin, M. (2010). Şehirçi kontrolsüz eşdüzey kavşak kazalarını etkileyen unsurların değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi International Technologic Sciences*, 2(2), 26-49.
- Takemoto, M., Kosaka, H., & Nishitani, H. (2008). A study on the relationships between unsafe driving behaviors and driver's inner factors when entering a non-signalized intersection. *Journal of Computers*, 9(3), 39–49.
- Tuncuk, M., & Karaşahin, M. (2005). Şehirçi eşdüzey kavşak geometrilerinin ve kazalara etkilerinin incelenmesi. *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi* (pp. 470-483), Antalya.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK). Trafik Kaza İstatistikleri. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?i d=21611> [Son erişim tarihi: 06.05.2019].
- Vrieling, J. H., de Waard, D., & Brookhuis, K. A. (2014). Driving behaviour while driving through two types of road works. *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 3(3), 141–148. DOI: 10.5923/j.ijtte.20140303.01
- Wang, X. & Abdel-Aty, M. A. (2007). Right-angle crash occurrence at signalized intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2219(2007), 156–168. <https://doi.org/10.3141%2F2019-19>
- Wong, C. K., Wong, S. C., & Tong, C. O. (2006). A lane-based optimization method for the multi-period analysis of isolated signal-controlled junctions. *Transportmetrica*, 2(1), 53–85. <https://doi.org/10.1080/18128600608685655>
- Wong, S. C. (1996). Group-based optimisation of signal timings using the transyt traffic model. *Transportation Research Part B*, 30(3), 217–244. [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(95\)00028-3](https://doi.org/10.1016/0191-2615(95)00028-3)
- Wong, S. C., & Yang, H. (1997). Reserve capacity of a signal-controlled road network. *Transportation Research Part B*, 31(5), 397–402. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(97\)00002-7](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(97)00002-7)
- Wood, J. S., Gooch, J. P., & Donnell, E. T. (2015). Estimating the safety effects of lane widths on urban streets in Nebraska using the propensity scores-potential outcomes framework. *Accident Analysis & Prevention*, 82(2015), 180–191. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.06.002>
- Yüksel, E. (2007). *Modern dönel kavşakların kapasite ve trafik güvenliği yönünden incelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

**Belirsizlik problemlerine yönelik yeni bir matematiksel yaklaşım: VFPIFS-küme***A novel mathematical approach to uncertainty problems: VFPIFS-set***Orhan DALKILIÇ<sup>\*1,a</sup>**<sup>1</sup>Mersin Üniversitesi, Fen ve Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 33343, Mersin

• Geliş tarihi / Received: 29.01.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 16.02.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 27.02.2022

**Öz**

Bu çalışma da belirsizlik problemlerine yönelik önerilen bulanık parametrelili sezgisel bulanık esnek (kısaca FPIFS-) kümelerin bir genellemesi olan sanal bulanık parametrelili sezgisel bulanık esnek (kısaca VFPIFS-) küme teorisi verilmiştir ve bazı önemli özellikleri incelenmiştir. Ayrıca bir belirsizlik problemi örneklendirilerek VFPIFS-kümeler için bir karar verme yaklaşımı verilerek en iyi nesnenin seçimi yapılmıştır. Son olarak her iki matematiksel model için bir karşılaştırmalı analiz yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** FPIFS-küme, Karar verme, VFPIFS-küme**Abstract**

In this paper, fuzzy parametrized intuitionistic fuzzy soft (briefly FPIFS-) set theory, which is a generalization of virtual fuzzy parametrized intuitionistic fuzzy soft (briefly VFPIFS-) sets proposed for uncertainty problems, is given and some important properties of it are examined. In addition, an uncertainty problem was exemplified and the best object was selected by giving a decision-making approach for VFPIFS-sets. Finally, a comparative analysis was done for both mathematical models.

**Keywords:** FPIFS-set, Decision making, VFPIFS-set<sup>\*a</sup> Orhan DALKILIÇ; orhandlk952495@hotmail.com, Tel: (0544) 584 03 17, orcid.org/0000-0003-3875-1398

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Belirsizlik problemlerine yönelik karşılaşılan sorunlar gün geçtikçe artmaya devam etmektedir. Bunun en önemli sebebi insanoğlunun ihtiyaçlarının çeşitlenmesi olarak görülebilir. Mühendislik, sağlık, eğitim gibi alanlarda karşılaşılan birçok belirsizlik problemine yönelik karar verme süreçlerinin en ideale yakın bir şekilde ilerleyebilmesi için birçok araştırmacı farklı matematiksel yaklaşımları bir çözüm önerisi olarak literatüre kazandırmışlardır. Bu matematiksel modellerin ilki Zadeh (1965) tarafından önerilen bulanık (F-) küme teorisidir. Teoriye göre bir elemanın üyelik derecesi  $[0,1]$  aralığında ifade edilebilmiştir. Daha sonraki yıllarda üye olmama derecesinin de ifade edilebildiği sezgisel bulanık (IF-) küme teorisi Atanassov (1986) tarafından verilmiştir. Ancak önerilen bu küme teorilerinin belirsizlik problemlerine uygulanması zor bir süreçti. Karşılaşılan bu problemin nedeninin mevcut küme teorilerindeki bir parametrisasyon aracı eksikliğine bağlayan Molodsov (1999), soft (kısaca S-) küme teorisini literatüre tanıtmıştır. Özellikle bu teorinin bir parametrisasyon aracı katkısıyla belirsizlik problemlerini ifade edebilmesindeki başarısı sayesinde araştırmacıların dikkatini oldukça çekmiştir ve üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Demirtaş & Dalkılıç, 2019; Deli & Çağman, 2016; Demirtaş vd., 2020; Irkin vd., 2018; Kalaichelvi & Malini, 2011; Karaca & Taş, 2018; Nihal vd., 2017; Özgür & Nihal, 2015; Saeed vd., 2020; Selvakumari, 2018; Zou & Xiao, 2008).

Geçmişten günümüze yukarıda bahsedilen matematiksel modeller birlikte düşünülerek birçok hibrit küme teorisi önerilmiştir. Bu teoriler aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır:

Bulanık esnek kümeler (Maji vd., 2001a),

Sezgisel bulanık esnek kümeler (Maji vd., 2001b),

Bulanık parametrelili esnek kümeler (Çağman vd., 2011),

Sanal bulanık parametrelili esnek kümeler (Dalkılıç ve Demirtaş, 2020),

Bulanık parametrelili bulanık esnek kümeler (Çağman vd., 2010),

Sanal bulanık parametrelili bulanık esnek kümeler (Dalkılıç, 2020),

Bulanık parametrelili sezgisel bulanık esnek kümeler (Sulukan vd., 2019) (Kısaca FPIFS-kümeler),

Sanal Bulanık parametrelili sezgisel bulanık esnek kümeler (Bu çalışmada önerilen) (Kısaca VFPIFS-kümeler)

Bu çalışmada Sulukan vd. (2019) tarafından önerilen FPIFS-kümelerin bir genellemesi olan VFPIFS-kümeleri tanıtılmıştır ve bazı önemli özellikler incelenmiştir. Bir karar verici, bir elemanın üyelik derecesini ya da üye olmama derecesini belirlemesi zor bir işidir. Çünkü  $[0,1]$  aralığında doğru bir şekilde bir değer ifade edebilmesi dayanaksız bir neticedir. Bu problemin üstesinden gelebilmek için tanıtılan matematiksel yaklaşıma sezgisel alt ve üst yaklaşım fonksiyonları eklenmiştir. Bu sayede belirsizliğin ifade edilebilmesinde bir nevi alt ve üst güven aralıklarını belirleyerek daha ideale yakın bir şekilde karar verme süreci yönetilebilir. Ayrıca VFPIFS-kümelerin alt kümesi, tümleyeni, birleşimi ve kesişimi gibi temel küme işlemleri tanımlanmıştır. Dahası bir karar verme algoritması önerilmiştir ve bir belirsizlik probleminin çözümünde algoritmanın nasıl uygulanması gerektiği örneklendirilmiştir. Son olarak FPIFS-kümeler ve VFPIFS-kümeler için karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır.

## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

Bu bölümde bundan sonraki bölümlerde verilecek olan kavramların daha iyi bir şekilde anlaşılmasında katkıda bulunmak amacıyla F-küme, S-küme, IF-küme ve FPIFS-küme teorileri hatırlatılmıştır.

Çalışma boyunca  $R$  bir başlangıç evreni  $P$  bir parametre kümesi ve  $2^R$ ,  $R$ 'nin kuvvet kümesi olarak ifade edilmiştir. Ayrıca yazım kolaylığı açısından ondalık değerli sayılar  $0.xyz \dots$  şeklinde ifade etmek yerine  $.xyz \dots$  şeklinde ifade edilmiştir.

**Tanım 2.1:**  $\mu_F: R \rightarrow [0,1]$  bir fonksiyon olmak üzere  $F = \{(r, \eta_F(r)): r \in R\}$  kümesine  $R$  üzerinde bir F-set denir (Zadeh, 1965). Burada  $\eta_F(r)$  değeri,  $r$  elemanının  $F$  kümesine olan aidiyetini yani üyelik derecesini belirtir (Zadeh, 1965).

**Tanım 2.2:**  $\mu_I: R \rightarrow [0,1]$  ve  $\nu_I: R \rightarrow [0,1]$  fonksiyonları her  $r \in R$  için  $0 \leq \mu_I(r) + \nu_I(r) \leq 1$  olmak üzere  $R$  üzerinde ifade edilen  $I = \{(r, \mu_I(r), \nu_I(r)): r \in R\}$  kümesine IF-küme denir (Atanassov 1986). Burada  $\mu_I$  ve  $\nu_I$  fonksiyonlarına sırasıyla  $I$ 'nin üyelik ve üyelik olmama fonksiyonları denir. Dahası,  $\mu_I(r)$  ve  $\nu_I(r)$  değerlerine sırasıyla  $r \in R$ 'nin üyelik derecesi ve üyelik olmama derecesi olarak ifade edilir (Atanassov 1986).

$I, I_1, I_2 \in IF(R)$  olmak üzere IF-kümeler için bazı temel kavramlar aşağıdaki gibi tanımlanır (Atanassov 1986):

(i) Her  $r \in R$  için  $\mu_I(r) = 0$  ve  $\nu_I(r) = 1$  ise  $I$  boş IF-küme olarak adlandırılır ve  $I_\emptyset$  ile gösterilir.

(ii) Her  $r \in R$  için  $\mu_I(r) = 1$  ve  $\nu_I(r) = 0$  ise  $I$  evrensel IF-küme olarak adlandırılır ve  $I_R$  ile gösterilir.

(iii) Her  $r \in R$  için  $\mu_{I_1}(r) \leq \mu_{I_2}(r)$  ve  $\nu_{I_2}(r) \leq \nu_{I_1}(r)$  ise  $I_1, I_2$ 'nin bir IF-alt kümesidir ve  $I_1 \subseteq I_2$  şeklinde gösterilir.

(iv)  $I$ 'nin tümleyeni  $I^c = \{(r, \nu_I(r), \mu_I(r)) : r \in R\}$  şeklindedir.

(v)  $I_1$  ve  $I_2$ 'nin kesişimi  $I_1 \cap I_2 = \{(r, \min\{\mu_{I_1}(r), \mu_{I_2}(r)\}, \max\{\nu_{I_1}(r), \nu_{I_2}(r)\}) : r \in R\}$  şeklindedir.

(vi)  $I_1$  ve  $I_2$ 'nin birleşimi  $I_1 \cup I_2 = \{(r, \max\{\mu_{I_1}(r), \mu_{I_2}(r)\}, \min\{\nu_{I_1}(r), \nu_{I_2}(r)\}) : r \in R\}$  şeklindedir.

Çalışma boyunca  $R$  üzerindeki tüm IF-kümelerinin ailesi  $IF(R)$  şeklinde ifade edilmiştir.

**Tanım 2.3:**  $S: P \rightarrow 2^R$  fonksiyonu için  $R$  üzerinde ifade edilen  $S = \{(p, S(p)) : p \in P\}$  kümesine S-küme denir (Molodsov, 1999).

**Tanım 2.4:**  $X = \{(p, \eta_X(p)) : p \in P\}$ ,  $P$  üzerinde bir F-küme ve  $\phi_X: P \rightarrow IF(R)$  bir fonksiyon olmak üzere  $\phi_X(p) = \{(r, \mu_X^p(r), \nu_X^p(r)) : r \in R\}$ ,  $R$  üzerinde her  $p \in P$  için bir IF-küme olsun. Bu durumda  $R$  üzerindeki bir  $\psi_X$  FPIFS-kümesi

$$\psi_X = \{(p/\eta_X(p), \phi_X(p)) : p \in P, \eta_X(p) \in [0,1], \phi_X(p) \in IF(R)\} \tag{1}$$

$$\underline{\psi}_X = \{(p/\eta_X(p^\alpha), \phi_X(p^\alpha)) : p \in P, p^\alpha \in \underline{P}, \eta_X(p^\alpha) \in [0,1], 0 \leq \alpha \leq \eta_X(p), \phi_X(p^\alpha) \in IF(R)\} \tag{4}$$

$$\psi_X = \{(p/\eta_X(p), \phi_X(p)) : p \in P, \eta_X(p) \in [0,1], \phi_X(p) \in IF(R)\} \tag{5}$$

$$\overline{\psi}_X = \{(p/\eta_X(p^\alpha), \phi_X(p^\alpha)) : p \in P, p^\alpha \in \overline{P}, \eta_X(p^\alpha) \in [0,1], 0 \leq \alpha \leq 1 - \eta_X(p), \phi_X(p^\alpha) \in IF(R)\} \tag{6}$$

$$\Upsilon_X = \underline{\psi}_X \cup \psi_X \cup \overline{\psi}_X \tag{7}$$

sıralı ikililerin bir kümesidir (Sulukun vd., 2019). Burada ifade edilen (1) kümesi için  $\phi_X, \psi_X$ 'in yaklaşım fonksiyonu olarak adlandırılır.

**Tanım 2.5:**  $X, P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  üzerinde bir F-küme olsun. Bu durumda  $1 \leq i \leq n$  değeri için her  $0 \leq \alpha_i < \mu_X(p_i)$  değerine karşılık gelecek yazılabilecek parametre kümesine, bir alt sanal parametre kümesi denir (Dalkılıç & Demirtaş, 2020) ve

$$\underline{P} = \{p_1^{\alpha_1}, p_2^{\alpha_2}, \dots, p_n^{\alpha_n}\} \tag{2}$$

şeklinde ifade edilir. Burada ifade edilen (2) kümesi için  $p_i^{\alpha_i}$  parametresi şu anlama gelmektedir: “ $p_i$  parametresinin  $\alpha_i$  sayısınca OLUMSUZ YÖNDE GELİŞİM PARAMETRESİ”. Benzer şekilde;  $1 \leq i \leq n$  değeri için her  $0 \leq \bar{\alpha}_i \leq 1 - \mu_X(p_i)$  değerine karşılık gelecek yazılabilecek parametre kümesine bir üst sanal parametre kümesi denir (Dalkılıç & Demirtaş, 2020) ve

$$\overline{P} = \{p_1^{\bar{\alpha}_1}, p_2^{\bar{\alpha}_2}, \dots, p_n^{\bar{\alpha}_n}\} \tag{3}$$

şeklinde ifade edilir. Burada ifade edilen (3) kümesi için  $p_i^{\bar{\alpha}_i}$  parametresi şu anlama gelmektedir: “ $p_i$  parametresinin  $\alpha_i$  sayısınca OLUMLU YÖNDE GELİŞİM PARAMETRESİ”.

### 3. Sanal bulanık parametrelili sezgisel bulanık esnek küme teorisi

#### 3. Virtual fuzzy parameterized intuitionistic fuzzy soft set theory

Bu bölümde FPIFS-kümelerin bir genellemesi olan VFPIFS-küme teorisi tanımlanmıştır ve bazı ilişkili ve önemli özellikler verilmiştir. Ayrıca VFPIFS-kümeler için tümleyen, alt küme, kesişim ve birleşim gibi temel küme işlemleri tanımlanmıştır.

**Tanım 3.1:**  $\underline{X}$  ve  $\overline{X}$  sırasıyla  $\underline{P}$  ve  $\overline{P}$  üzerinde bir F-küme olmak üzere  $\underline{P} = \{p^\alpha : 0 \leq \alpha < \mu_X(p)\}$  ve  $\overline{P} = \{p^\alpha : 0 \leq \alpha < 1 - \mu_X(p)\}$  kümeleri sırasıyla bir alt sanal parametre kümesi ve bir üst sanal parametre kümesi olsun. Bu durumda  $R$  üzerindeki bir  $\Upsilon_X$  VFPIFS-kümesi

şeklinde (7) kümesi (4), (5) ve (6) kümelerinin birleşiminden oluşur. Burada ifade edilen (7) kümesi için  $\underline{\phi}_X: \underline{P} \rightarrow IF(R)$ ,  $\phi_X: P \rightarrow IF(R)$  ve  $\overline{\phi}_X: \overline{P} \rightarrow IF(R)$  fonksiyonlarına sırasıyla sezgisel alt yaklaşım fonksiyonu, yaklaşım fonksiyonu ve sezgisel üst yaklaşım fonksiyonu denir. Daha açık bir ifadeyle bu fonksiyonlar sırasıyla  $\underline{\phi}_X(p^\alpha) = \left\{ \left( r, \mu_X^{p^\alpha}(r), \nu_X^{p^\alpha}(r) \right) : r \in R \right\}$ ,  $\phi_X(p) = \left\{ \left( r, \mu_X^p(r), \nu_X^p(r) \right) : r \in R \right\}$  ve  $\overline{\phi}_X(p^{\overline{\alpha}}) = \left\{ \left( r, \mu_X^{p^{\overline{\alpha}}}(r), \nu_X^{p^{\overline{\alpha}}}(r) \right) : r \in R \right\}$  şeklinde ifade edilir.

Dahası  $\underline{\phi}_X(p^\alpha)$ ,  $\phi_X(p)$  ve  $\overline{\phi}_X(p^{\overline{\alpha}})$  sırasıyla her  $p^\alpha \in \underline{P}$ ,  $p \in P$  ve  $p^{\overline{\alpha}} \in \overline{P}$  için VFPIFS-kümesinin bir sezgisel alt  $p$ -elemanı,  $p$ -elemanı ve sezgisel üst  $p$ -elemanı olarak adlandırılır. Ayrıca  $\eta_X: \underline{P} \rightarrow [0,1]$  ve  $\eta_{\overline{X}}: \overline{P} \rightarrow [0,1]$  üyelik fonksiyonlarının değerleri sırasıyla  $\eta_X(p) - \alpha = \eta_X(p^\alpha)$  ve  $\eta_X(p) + \overline{\alpha} = \eta_{\overline{X}}(p^{\overline{\alpha}})$  şeklindedir.

Burada;  $\eta_X(p) = 0$  ise  $\phi_X(p) = \emptyset$  dir. Benzer şekilde  $\eta_X(p^\alpha) = 0$  ise  $\underline{\phi}_X(p^\alpha) = \emptyset$  ve  $\eta_X(p^{\overline{\alpha}}) = 0$  ise  $\overline{\phi}_X(p^{\overline{\alpha}}) = \emptyset$  dir. Açık ki, ifade edilen  $\alpha$  ve  $\overline{\alpha}$  değerleri bir reel sayı olduğundan  $\underline{\phi}_X(p^\alpha)$  ve  $\overline{\phi}_X(p^{\overline{\alpha}})$  ifadelerine karşılık gelen nesnelere üyelik derecelerinde bir değişim gözlenebilir.

$$\begin{aligned} \underline{\phi}_X(p_1^{.33}) &= \{(r_1, .687, .302), (r_2, .795, .2), (r_3, .655, .195)\}, \\ \underline{\phi}_X(p_2^{.09}) &= \{(r_1, .836, .126), (r_2, .543, .444), (r_3, .694, .132)\}, \\ \phi_X(p_1) &= \{(r_1, .443, .355), (r_2, .585, .265), (r_3, .462, .378)\}, \\ \phi_X(p_2) &= \{(r_1, .692, .302), (r_2, .485, .502), (r_3, .492, .274)\}, \\ \overline{\phi}_X(p_1^{0.1}) &= \{(r_1, .283, .495), (r_2, .489, .397), (r_3, .296, .583)\}, \\ \overline{\phi}_X(p_2^{0.44}) &= \{(r_1, .493, .504), (r_2, .294, .664), (r_3, .456, .395)\} \end{aligned}$$

Dikkat edilmelidir ki; seçilen değerler rastgele değildir. Örneğin;  $p_1$  parametresi için  $\alpha_1, 0 \leq \alpha_1 = .33 \leq .55$  ve  $\overline{\alpha}_1, 0 \leq \overline{\alpha}_1 = .1 \leq .45$  aralığından seçilmiştir. Benzer şekilde  $p_2$  için ise

Çalışma boyunca  $R$  üzerindeki tüm VFPIFS-kümelerinin ailesi  $VFPIFS(R)$  şeklinde ifade edilmiştir.

**Özellik 3.1:**  $Y_X \in VFPIFS(R)$  olsun. O halde her  $p^\alpha \in \underline{P}$ ,  $p \in P$  ve  $p^{\overline{\alpha}} \in \overline{P}$  ve  $r \in R$  için,  $\underline{\phi}_X(p^\alpha)$ ,  $\phi_X(p)$  ve  $\overline{\phi}_X(p^{\overline{\alpha}})$  fonksiyonları dikkate alınarak

- (i)  $\mu_X^{p^{\overline{\alpha}}}(r) \leq \mu_X^p(r) \leq \mu_X^{p^\alpha}(r)$
- (ii)  $\nu_X^{p^\alpha}(r) \leq \nu_X^p(r) \leq \nu_X^{p^{\overline{\alpha}}}(r)$

eşitsizlikleri elde edilir.

**İspat.** Tanım 3.1'in doğrudan bir sonucudur.

**Örnek 3.1:** Nesnelere kümesi olarak  $R = \{r_1, r_2, r_3\}$  ve parametrelerin kümesi olarak da  $P = \{p_1, p_2\}$  kümesini alalım. O halde  $P$  parametre kümesi için alt ve üst sanal parametre kümeleri sırasıyla  $\underline{P} = \{p_1^{\alpha_1}, p_2^{\alpha_2}\}$ ,  $\overline{P} = \{p_1^{\overline{\alpha}_1}, p_2^{\overline{\alpha}_2}\}$  şeklindedir. Diyelim ki;  $\underline{P}, P, \overline{P}$  parametre kümeleri üzerindeki F-kümeler sırasıyla  $\underline{X} = \left\{ \frac{p_1}{.22}, \frac{p_2}{.35} \right\}$ ,  $X = \left\{ \frac{p_1}{.55}, \frac{p_2}{.44} \right\}$ ,  $\overline{X} = \left\{ \frac{p_1}{.65}, \frac{p_2}{.88} \right\}$  şeklinde verilmiş olsun. Dahası sezgisel alt yaklaşım fonksiyonu, yaklaşım fonksiyonu ve sezgisel üst yaklaşım fonksiyonu sırasıyla her parametre için aşağıdaki şekilde ifade edilmiş olsunlar:

$\alpha_2, 0 \leq \alpha_2 = .09 \leq .44$  ve  $\overline{\alpha}_2, 0 \leq \overline{\alpha}_2 = .44 \leq .56$  aralığından seçilmiştir. Bu durumda  $Y_X$  VFPIFS-kümesi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$Y_X = \left\{ \begin{aligned} &\left( \frac{p_1}{.22}, \{(r_1, .687, .302), (r_2, .795, .2), (r_3, .655, .195)\} \right), \\ &\left( \frac{p_2}{.35}, \{(r_1, .836, .126), (r_2, .543, .444), (r_3, .694, .132)\} \right), \\ &\left( \frac{p_1}{.55}, \{(r_1, .443, .355), (r_2, .585, .265), (r_3, .462, .378)\} \right), \\ &\left( \frac{p_2}{.44}, \{(r_1, .692, .302), (r_2, .485, .502), (r_3, .492, .274)\} \right), \\ &\left( \frac{p_1}{.65}, \{(r_1, .283, .495), (r_2, .489, .397), (r_3, .296, .583)\} \right), \\ &\left( \frac{p_2}{.88}, \{(r_1, .493, .504), (r_2, .294, .664), (r_3, .456, .395)\} \right) \end{aligned} \right.$$

Burada ifade edilen  $Y_X$  VFPIFS-kümesi aşağıda ifade edilen FPIFS-kümelerinin birleşiminden oluşmaktadır:

$$\begin{aligned} \underline{\psi}_X &= \left\{ \left( \frac{p_1}{0.22}, \{(r_1, .687, .302), (r_2, .795, .2), (r_3, .655, .195)\} \right), \right. \\ &\left. \left( \frac{p_2}{0.35}, \{(r_1, .836, .126), (r_2, .543, .444), (r_3, .694, .132)\} \right) \right\}, \\ \psi_X &= \left\{ \left( \frac{p_1}{0.55}, \{(r_1, .443, .355), (r_2, .585, .265), (r_3, .462, .378)\} \right), \right. \\ &\left. \left( \frac{p_2}{0.44}, \{(r_1, .692, .302), (r_2, .485, .502), (r_3, .492, .274)\} \right) \right\}, \\ \overline{\psi}_X &= \left\{ \left( \frac{p_1}{0.65}, \{(r_1, .283, .495), (r_2, .489, 0.397), (r_3, .296, 0.583)\} \right), \right. \\ &\left. \left( \frac{p_2}{0.88}, \{(r_1, .493, .504), (r_2, .294, .664), (r_3, .456, .395)\} \right) \right\}. \end{aligned}$$

**Tanım 3.2:**  $Y_X \in VFPIFS(R)$  olmak üzere

- (i) her  $p^\alpha \in \underline{P}$  için  $\underline{\phi}_X(p^\alpha) = I_\emptyset$  ve  $\eta_X(p^\alpha) = 0$  ise  $Y_X$ 'e, boş VFPIFS-küme denir ve  $Y_\emptyset$  ile gösterilir.
- (ii) her  $p^\alpha \in \overline{P}$  için  $\overline{\phi}_X(p^\alpha) = I_R$  ve  $\eta_X(p^\alpha) = 1$  ise  $Y_X$ 'e, evrensel VFPIFS-küme denir ve  $Y_P$  ile gösterilir.

**Tanım 3.3:**  $Y_X, Y_Y \in VFPIFS(R)$  olmak üzere

- i) her  $p \in P$  ve  $p^\alpha \in \underline{P}$  için  $\eta_X(p^\alpha) \leq \eta_Y(p^\alpha)$  ve  $\underline{\phi}_X(p^\alpha) \subseteq \underline{\phi}_Y(p^\alpha)$ ,
- ii) her  $p \in P$  için  $\eta_X(p) \leq \eta_Y(p)$  ve  $\phi_X(p) \subseteq \phi_Y(p)$ ,
- iii) her  $p \in P$  ve  $p^\alpha \in \overline{P}$  için  $\eta_X(p^\alpha) \leq \eta_Y(p^\alpha)$  ve  $\overline{\phi}_X(p^\alpha) \subseteq \overline{\phi}_Y(p^\alpha)$

gerçeklenmesi durumunda  $Y_X, Y_Y$  nin VFPIFS-alt kümedir ve  $Y_X \subseteq Y_Y$  şeklinde gösterilir. Eğer

- i) her  $p \in P$  ve  $p^\alpha \in \underline{P}$  için  $\eta_X(p^\alpha) = \eta_Y(p^\alpha)$  ve  $\underline{\phi}_X(p^\alpha) = \underline{\phi}_Y(p^\alpha)$ ,
- ii) her  $p \in P$  için  $\eta_X(p) = \eta_Y(p)$  ve  $\phi_X(p) = \phi_Y(p)$ ,
- iii) her  $p \in P$  ve  $p^\alpha \in \overline{P}$  için  $\eta_X(p^\alpha) = \eta_Y(p^\alpha)$  ve  $\overline{\phi}_X(p^\alpha) = \overline{\phi}_Y(p^\alpha)$

koşulları gerçekleşiyor ise  $Y_X$  ve  $Y_Y$  VFPIFS-eşittir denir ve  $Y_X = Y_Y$  şeklinde gösterilir.

**Özellik 3.2:**  $Y_X, Y_Y, Y_Z \in VFPIFS(R)$  olsun. O halde,

- i)  $Y_\emptyset \subseteq Y_X$
- ii)  $Y_X \subseteq Y_X$
- iii)  $Y_X \subseteq Y_Y$  ve  $Y_Y \subseteq Y_X$  ise  $Y_X = Y_Y$
- iv)  $Y_X \subseteq Y_Y$  ve  $Y_Y \subseteq Y_Z$  ise  $Y_X \subseteq Y_Z$

**Kanıt:** Tanım 3.2 ve 3.3'ten faydalanılarak kolayca gösterilebilir.

**Tanım 3.4:**  $Y_X \in VFPIFS(R)$  olsun.  $Y_X$ 'in tümleyeni  $Y_X^c$  olarak gösterilir ve aşağıdaki koşulları sağlar:

- i) her  $p \in P$  ve  $p^\alpha \in \underline{P}$  için  $\eta_X^c(p^\alpha) = 1 - \eta_X(p^\alpha)$  ve  $\underline{\phi}_X^c(p^\alpha) = \{(r, u_X^{p^\alpha}(r), \mu_X^{p^\alpha}(r)) : r \in R\}$ ,
- ii) her  $p \in P$  için  $\eta_X^c(p) = 1 - \eta_X(p)$  ve  $\phi_X^c(p) = \{(r, u_X^p(r), \mu_X^p(r)) : r \in R\}$ ,
- iii) her  $p \in P$  ve  $p^\alpha \in \overline{P}$  için  $\eta_X^c(p^\alpha) = 1 - \eta_X(p^\alpha)$  ve  $\overline{\phi}_X^c(p^\alpha) = \{(r, u_X^{p^\alpha}(r), \mu_X^{p^\alpha}(r)) : r \in R\}$

**Örnek 3.2:** Örnek 3.1'i düşünelim. Bu önerkte verilen  $Y_X$  VFPIFS-kümesinin tümleyeni aşağıdaki şekildedir:

$$Y_X^c = \left\{ \begin{array}{l} \left( \frac{p_1}{.78}, \{(r_1, .302, .687), (r_2, .2, .795), (r_3, .195, .655)\} \right), \\ \left( \frac{p_2}{.65}, \{(r_1, .126, .836), (r_2, .444, .543), (r_3, .1332, .694)\} \right), \\ \left( \frac{p_1}{.45}, \{(r_1, .355, .443), (r_2, .265, .585), (r_3, .378, .462)\} \right), \\ \left( \frac{p_2}{.56}, \{(r_1, .302, .692), (r_2, .502, .485), (r_3, .274, .492)\} \right), \\ \left( \frac{p_1}{.35}, \{(r_1, .495, .283), (r_2, .397, .489), (r_3, .583, .296)\} \right), \\ \left( \frac{p_2}{.12}, \{(r_1, .504, .493), (r_2, .664, .294), (r_3, .395, .456)\} \right) \end{array} \right.$$

**Tanım 3.5:**  $Y_X, Y_Y \in VFPIFS(R)$  olsun.  $Y_X$  ve  $Y_Y$  VFPIFS-kümelerinin birleşimi

- i) her  $p \in P$  ve  $p^\alpha, p^\beta, p^\gamma \in \underline{P}$  için  $\eta_{X \cup Y}(p^\gamma) = \max\{\eta_X(p^\alpha), \eta_Y(p^\beta)\}$  ve  $\phi_{X \cup Y}(p^\gamma) = \phi_X(p^\alpha) \tilde{\cup} \phi_Y(p^\beta)$  fonksiyonları,
- ii) her  $p \in E$  için  $\mu_{X \cup Y}(p) = \max\{\mu_X(p), \mu_Y(p)\}$  ve  $\phi_{X \cup Y}(p) = \phi_X(p) \tilde{\cup} \phi_Y(p)$  fonksiyonları,
- iii) her  $p \in P$  ve  $p^{\bar{\alpha}}, p^{\bar{\beta}}, p^{\bar{\gamma}} \in \bar{P}$  için  $\eta_{\overline{X \cup Y}}(p^{\bar{\gamma}}) = \max\{\eta_{\bar{X}}(p^{\bar{\alpha}}), \eta_{\bar{Y}}(p^{\bar{\beta}})\}$  ve  $\overline{\phi_{X \cup Y}}(p^{\bar{\gamma}}) = \overline{\phi_X}(p^{\bar{\alpha}}) \tilde{\cup} \overline{\phi_Y}(p^{\bar{\beta}})$  fonksiyonları

koşullarının gerçekleşmesi ile elde edilir ve  $Y_X \hat{\cup} Y_Y$  şeklinde gösterilir. Ayrıca verilen VFPIFS-kümelerinin kesişimi ise

- i) her  $p \in P$  ve  $p^\alpha, p^\beta, p^\gamma \in \underline{P}$  için  $\eta_{X \cap Y}(p^\gamma) = \min\{\eta_X(p^\alpha), \eta_Y(p^\beta)\}$  ve  $\phi_{X \cap Y}(p^\gamma) = \phi_X(p^\alpha) \tilde{\cap} \phi_Y(p^\beta)$  fonksiyonları,

- ii) her  $p \in E$  için  $\mu_{X \cap Y}(p) = \min\{\mu_X(p), \mu_Y(p)\}$  ve  $\phi_{X \cap Y}(p) = \phi_X(p) \tilde{\cap} \phi_Y(p)$  fonksiyonları,
- iii) her  $p \in P$  ve  $p^{\bar{\alpha}}, p^{\bar{\beta}}, p^{\bar{\gamma}} \in \bar{P}$  için  $\eta_{\overline{X \cap Y}}(p^{\bar{\gamma}}) = \min\{\eta_{\bar{X}}(p^{\bar{\alpha}}), \eta_{\bar{Y}}(p^{\bar{\beta}})\}$  ve  $\overline{\phi_{X \cap Y}}(p^{\bar{\gamma}}) = \overline{\phi_X}(p^{\bar{\alpha}}) \tilde{\cap} \overline{\phi_Y}(p^{\bar{\beta}})$  fonksiyonları

yardımıyla elde edilir ve  $Y_X \hat{\cap} Y_Y$  şeklinde gösterilir.

**Özellik 3.3:**  $Y_X, Y_Y, Y_Z \in VFPIFS(R)$  olsun. O halde,

- i)  $Y_X \hat{\cup} Y_X = Y_X$  ve  $Y_X \hat{\cap} Y_X = Y_X$
- ii)  $Y_\emptyset \hat{\cup} Y_X = Y_X$  ve  $Y_\emptyset \hat{\cap} Y_X = Y_\emptyset$
- iii)  $Y_X \hat{\cup} Y_\emptyset = Y_X$  ve  $Y_X \hat{\cap} Y_\emptyset = Y_\emptyset$
- iv)  $Y_X \hat{\cup} Y_P = Y_P$  ve  $Y_X \hat{\cap} Y_P = Y_X$
- v)  $Y_X \hat{\cup} Y_Y = Y_Y \hat{\cup} Y_X$  ve  $Y_X \hat{\cap} Y_Y = Y_Y \hat{\cap} Y_X$
- vi)  $(Y_X \hat{\cup} Y_Y) \hat{\cup} Y_Z = Y_X \hat{\cup} (Y_Y \hat{\cup} Y_Z)$  ve  $(Y_X \hat{\cap} Y_Y) \hat{\cap} Y_Z = Y_X \hat{\cap} (Y_Y \hat{\cap} Y_Z)$

**Kanıt:** Tanım 3.5'ten açıktır.

**Örnek 3.3:** Örnek 3.1'i tekrar ele alalım. Ayrıca aşağıda ifade edildiği şekilde bir  $Y_Y$  VFPIFS-kümesini ele alalım,



$$Y_Y = \left\{ \begin{array}{l} \left( \frac{p_1}{.26}, \{(r_1, .684, .204), (r_2, .637, .308), (r_3, .598, .205)\} \right), \\ \left( \frac{p_2}{.5}, \{(r_1, .708, .295), (r_2, .788, .206), (r_3, .849, .105)\} \right), \\ \left( \frac{p_1}{.45}, \{(r_1, .495, .504), (r_2, .587, .359), (r_1, .488, .395)\} \right), \\ \left( \frac{p_2}{.64}, \{(r_1, .587, .388), (r_2, .567, .405), (r_1, .596, .285)\} \right), \\ \left( \frac{p_1}{.75}, \{(r_1, .392, .605), (r_2, .359, .493), (r_1, .227, .637)\} \right), \\ \left( \frac{p_2}{.78}, \{(r_1, .385, .605), (r_2, .489, .501), (r_1, .355, .604)\} \right) \end{array} \right\}$$

Bu durumda  $Y_X \hat{\cap} Y_Y$  ve  $Y_X \hat{\cap} Y_Y$  aşağıdaki gibi elde edilir,

$$Y_X \hat{\cap} Y_Y = \left\{ \begin{array}{l} \left( \frac{p_1}{.26}, \{(r_1, .687, .204), (r_2, .795, .2), (r_3, .655, .195)\} \right), \\ \left( \frac{p_2}{.5}, \{(r_1, .836, .126), (r_2, .788, .206), (r_3, .849, .105)\} \right), \\ \left( \frac{p_1}{.55}, \{(r_1, .495, .355), (r_2, .587, .265), (r_3, .488, .378)\} \right), \\ \left( \frac{p_2}{.64}, \{(r_1, .692, .302), (r_2, .567, .405), (r_3, .596, .274)\} \right), \\ \left( \frac{p_1}{.75}, \{(r_1, .392, .495), (r_2, .489, .397), (r_3, .296, .583)\} \right), \\ \left( \frac{p_2}{.88}, \{(r_1, .493, .504), (r_2, .489, .501), (r_3, .456, .395)\} \right) \end{array} \right\}$$

$$Y_X \hat{\cap} Y_Y = \left\{ \begin{array}{l} \left( \frac{p_1}{.26}, \{(r_1, .684, .302), (r_2, .637, .308), (r_3, .598, .205)\} \right), \\ \left( \frac{p_2}{.5}, \{(r_1, .708, .295), (r_2, .543, .444), (r_3, .694, .132)\} \right), \\ \left( \frac{p_1}{.45}, \{(r_1, .443, .504), (r_2, .585, .359), (r_1, .462, .395)\} \right), \\ \left( \frac{p_2}{.64}, \{(r_1, .587, .388), (r_2, .485, .502), (r_1, .492, .285)\} \right), \\ \left( \frac{p_1}{.75}, \{(r_1, .283, .605), (r_2, .359, .493), (r_1, .227, .637)\} \right), \\ \left( \frac{p_2}{.78}, \{(r_1, .385, .605), (r_2, .294, .664), (r_1, .355, .604)\} \right) \end{array} \right\}$$

**Özellik 3.4:**  $Y_X, Y_Y \in VFPIFS(R)$  olsun. O halde aşağıda verilen De Morgan kuralları gerçeklenir,

$$i) (Y_X \hat{\cap} Y_Y)^c = Y_X^c \hat{\cap} Y_Y^c$$

$$ii) (Y_X \hat{\cap} Y_Y)^c = Y_X^c \hat{\cap} Y_Y^c$$

**Kanıt:** Tanım 3.4 ve 3.5'ten faydalanılarak kolayca gösterilebilir.

**Özellik 3.5:**  $Y_X, Y_Y, Y_Z \in VFPIFS(R)$  olsun. O halde,

$$i) Y_X \hat{\cap} (Y_Y \hat{\cap} Y_Z) = (Y_X \hat{\cap} Y_Y) \hat{\cap} (Y_X \hat{\cap} Y_Z)$$

$$ii) Y_X \hat{\cap} (Y_Y \hat{\cap} Y_Z) = (Y_X \hat{\cap} Y_Y) \hat{\cap} (Y_X \hat{\cap} Y_Z)$$

**Kanıt:** Tanım 3.5'ten faydalanılarak kolayca gösterilebilir.

#### 4. Bir karar verme uygulaması

##### 4. A decision-making app

Bu bölümde günlük hayatta pek çok kez karşılaşılan belirsizlik problemlerine yönelik VFPIFS-kümelerden faydalanılarak bir karar verme algoritması önerilmiştir. Bunun için bir belirsizlik problemi örneklendirilmiştir ve bu problemin çözümü önerilen algoritmanın yardımıyla öncelikle VFPIFS-kümeler için daha sonra ise FPIFS-kümeler ile yapılmıştır. Elde edilen çözüm sonuçlarının bir karşılaştırılması verilerek VFPIFS-kümelerin avantajı açıkça ortaya konulmuştur.

Mevcut nesnelere arasından istenilen parametreleri sağlayan en ideal nesnenin seçimine yönelik inşa ettiğimiz karar verme algoritması aşağıdaki şekildedir:

**Algoritma:**

**Adım 1.** Karar verici tarafından belirlenen parametrelerin kümesi  $P$  ve mevcut nesnelerin kümesi  $R$  ve  $X, P$  üzerinde bir F-küme olmak üzere temel kümeleri gir.

**Adım 2.** Belirsizlik problemi bir  $Y_X$  VFPIFS-küme yardımıyla ifade et.

**Adım 3.**  $Y_X$  VFPIFS-kümesinin her  $r \in R$  için skor değerlerini aşağıda verilen formülden yaralanarak hesapla.

$$W_{Y_X}(r) = \frac{1}{3|P|} \left[ \begin{aligned} &\sum_{p^{\underline{\alpha}} \in \underline{P}} \eta_X(p^{\underline{\alpha}}) \left( \mu_X^{p^{\underline{\alpha}}}(r) - \nu_X^{p^{\underline{\alpha}}}(r) \right) + \\ &\sum_{p \in P} \eta_X(p) \left( \mu_X^p(r) - \nu_X^p(r) \right) + \\ &\sum_{p^{\bar{\alpha}} \in \bar{P}} \eta_X(p^{\bar{\alpha}}) \left( \mu_X^{p^{\bar{\alpha}}}(r) - \nu_X^{p^{\bar{\alpha}}}(r) \right) \end{aligned} \right] \quad (8)$$

Burada  $|P|, P$ 'nin kardinalitesini ifade etmektedir.

**Adım 4.**  $W_{Y_X}(r_i) = \max\{W_{Y_X}(r_k): r_k \in R\}$  değerini bul.

**Adım 5.** Karar verici tarafından belirlenen parametreleri en iyi karşılayan nesne  $r_1$  nesnesidir.

Şimdi, inşa ettiğimiz algoritmanın bir belirsizlik problemi üzerinde nasıl uygulanabileceğini örnekleyelim,

**Problem:** Bir yemek şirketi kendi çalışma ortamına en uygun aşçıyı işe almak istediğini varsayalım. Bunun için bir iş ilanı yayınlar ve ilana göre istenilen parametrelerin kümesi  $P = \{p_1: \text{özverili}, p_2: \text{çalışkan}, p_3: \text{düzenli}\}$ 'dir. İLANA başvuran aşçıların kümesi ise  $R = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5\}$  şeklindedir. Yemek şirketi tarafından belirlenen parametrelerin üyelik derecelerini ifade etmekte zorlanan karar verici olan şirket yönetimi alt ve üst parametrelerin üyelik derecelerini de ifade etmeyi uygun görmüşlerdir ve  $\underline{P}, P, \bar{P}$  parametre kümelerinin F-kümelerini sırasıyla  $\underline{P} = \left\{ \frac{p_1}{.35}, \frac{p_2}{.2}, \frac{p_3}{.45} \right\}$ ,  $P = \left\{ \frac{p_1}{.48}, \frac{p_2}{.4}, \frac{p_3}{.6} \right\}$ ,  $\bar{P} = \left\{ \frac{p_1}{.68}, \frac{p_2}{.55}, \frac{p_3}{.8} \right\}$  şeklinde ifade etmişlerdir.

Şimdi yemek şirketi yönetiminin aşçılar için değerlendirme sonuçlarını ifade eden  $Y_X$  VFPIFS-kümesi aşağıdaki gibi verilmiş olduğunu varsayalım;

$$Y_X = \left\{ \begin{aligned} &\left( \frac{p_1}{.35}, \{(r_1, .55, .3), (r_2, .6, .2), (r_3, .63, .3), (r_4, .75, .2), (r_5, .8, .1)\} \right), \\ &\left( \frac{p_2}{.2}, \{(r_1, .5, .4), (r_2, .76, .2), (r_3, .8, .12), (r_4, .6, .3), (r_5, .55, .35)\} \right), \\ &\left( \frac{p_3}{.45}, \{(r_1, .7, .2), (r_2, .8, .1), (r_3, .63, .3), (r_4, .55, .3), (r_5, .65, .2)\} \right), \\ &\left( \frac{p_1}{.48}, \{(r_1, .5, .4), (r_2, .55, .3), (r_1, .6, .35), (r_4, .6, .3), (r_5, .6, .25)\} \right), \\ &\left( \frac{p_2}{.4}, \{(r_1, .3, .5), (r_2, .54, .25), (r_1, .49, .2), (r_4, .4, .42), (r_5, .35, .5)\} \right), \\ &\left( \frac{p_3}{.6}, \{(r_1, .5, .35), (r_2, .6, .31), (r_1, .61, .32), (r_4, .42, .4), (r_5, .5, .32)\} \right), \\ &\left( \frac{p_1}{.68}, \{(r_1, .3, .45), (r_2, .4, .45), (r_1, .35, .6), (r_4, .3, .5), (r_5, .4, .5)\} \right), \\ &\left( \frac{p_2}{.55}, \{(r_1, .2, .67), (r_2, .4, .5), (r_1, .45, .4), (r_4, .36, .5), (r_5, .28, .6)\} \right), \\ &\left( \frac{p_2}{.8}, \{(r_1, .4, .42), (r_2, .42, .35), (r_1, .4, .5), (r_4, .35, .5), (r_5, .4, .45)\} \right) \end{aligned} \right\}$$

Burada verilen  $Y_X$  VFPIFS-kümesi şöyle okunmalıdır: Örneğin yemek şirketi yönetimi işe alınacak aşçının özverili olma parametresini .48 üyeliğinde sağlamasını ilk kararında istemiştir. Ancak bu üyeliğin bir alt sınırı (yani ne kadar taviz verebileceği konusunda da) .35 değerini ifade etmiştir. Benzer şekilde özveri parametresi için verilen üst sınır ise .68 olarak ifade edilmiştir. Daha sonra aşçıların bu parametreleri ne ölçüde sağladığı üyelik derecesi ve üyelik olmama derecesi yardımıyla ifade edilmiştir. Diğer parametreler için de benzer şekilde yorumlar yapılabilir.

Şimdi her bir aşçının skor değerlerini hesaplamak için Adım 3'te verilen (8) formülünden faydalanalım. Elde edilen sonuçlar her  $r \in R$  için aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} W_{Y_X}(r_1) &= .0016, & W_{Y_X}(r_2) &= .1049, \\ & & W_{Y_X}(r_3) &= .0653, \\ & & W_{Y_X}(r_4) &= .02, \\ & & W_{Y_X}(r_5) &= .0466. \end{aligned}$$

Buradan açıktır ki;  $\max\{W_{Y_X}(r_k): r_k \in R\} = .1049 = W_{Y_X}(r_2)$  olduğundan  $r_2$  aşçısı işe alınmalıdır.

**Bir karşılaştırma:** Yukarıda verilen belirsizlik probleminin çözümü için eğer FPIFS-kümelerden faydalansaydık her bir aşçı için elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi olurdu,

$$W_{Y_X}(r_2) = W_{Y_X}(r_3) = .1367 > W_{Y_X}(r_5) = .072 \\ > W_{Y_X}(r_4) = .0493 > W_{Y_X}(r_1) \\ = .0093$$

Dolayısıyla bu durumda şirket ilana başvuran aşçılar arasından en iyi aşçıyı tespit edemezler. VFPIFS-kümelerden yararlanılarak elde edilen sonuçlarda aşçılar arasındaki sıralamanın  $r_2 > r_3 > r_5 > r_4 > r_1$  şeklinde olduğunu tespit etmiştik. Dolayısıyla belirsizlik ortamlarında karar vericinin karar verme süreçlerinden daha verimli sonuçlar elde edebilmesi için önerdiğimiz matematiksel yaklaşımı kullanmasını tavsiye ediyoruz.

Karşılaştırılan matematiksel modellerin arasındaki bu farklı sonuçların sebebi, VFPIFS-kümelerde, FPIFS-küme yaklaşımında olmayan sezgisel alt ve üst yaklaşım fonksiyonlarının dikkate alınmış olmasıdır.

## 5. Tartışma ve sonuçlar

### 5. Discussion and conclusions

Belirsizlik problemlerini en doğru şekilde ifade edebilmek ve bu sayede karar verme süreçlerini en ideale yakın bir şekilde yönetebilmek araştırmacıları birçok farklı hibrit matematiksel yaklaşım önermeye teşvik etmiştir. Bu çalışma daha önceden verilen FPIFS-kümelerin bir genellemesi olan VFPIFS-kümeleri literatüre kazandırarak belirsizlik ortamlarını ifade etmede daha başarılı bir matematiksel modeli inşa etmeye odaklanmıştır. Bu model sayesinde karar verici, (0,1) aralığında bir değer ifade etmesi sezgisel alt ve üst yaklaşım fonksiyonları sayesinde daha kolay bir şekilde sağlanmıştır. Dahası, önerilen matematiksel yaklaşım için bazı küme işlemleri önemli özellikleri ile birlikte incelenmiştir. Ayrıca bir belirsizlik problemi örneklendirilerek bu problemin çözümü için bir karar verme algoritması önerilmiştir. Son olarak FPIFS-kümeler ve VFPIFS-kümeler arasında bir karşılaştırma analizi yapılmıştır ve sonuçlar irdelenmiştir.

Bu çalışmada önerilen VFPIFS-kümelerin FPIFS-kümelerden daha ideale yakın bir şekilde bir

belirsizlik problemini ifade edebilmesi, gelecekte karşılaşılabilecek belirsizlik problemleri için daha tercih edilebilecek bir matematiksel modeldir. Dahası, karar vericinin bir değeri ifade etmesindeki sağladığı avantaj önerilen matematiksel modele olan ilgiyi arttırabileceğini düşündürmektedir.

## Teşekkür

### Acknowledgement

Makalenin incelenmesinde göstermiş oldukları sabır ve anlayıştan dolayı, ilgili editör ve hakemlere teşekkür edilmektedir.

## Yazar katkısı

### Author contribution

Bu çalışmada makale fikrinin oluşturulması, makalenin ilerleyişinin denetlenmesi, ilgili tabloların/bulguların ve sonuç kısmının değerlendirilmesi tarafımda yapılmış ve bu adımları barındıran her süreçte görev alınmıştır.

## Etik beyanı

### Declaration of ethical code

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

## Çıkar çatışması beyanı

### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

### References

- Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87–96.
- Çağman, N., Cıtak, F., & Enginoğlu, S. (2010). Fuzzy parameterized fuzzy soft set theory and its applications. *Turkish Journal of Fuzzy Systems* 1(1), 21–35.
- Çağman, N., Cıtak, F., & Enginoğlu, S. (2011). FP-soft set theory and its applications. *Annals of Fuzzy Mathematics and Informatics*, 2(2), 219–226.
- Dalkılıç, O. (2020). An application of VFPFSS's in decision making problems. *Journal of Polytechnic*, <https://doi.org/10.2339/politeknik.758474>.

- Dalkılıç, O., & Demirtaş, N. (2020). VFP-soft sets and its application on decision making problems. *Journal of Polytechnic*, 24(4), 1391-1399. <https://doi.org/10.2339/politeknik.685634>.
- Deli, I., & Çağman, N. (2016). Application of soft sets in decision making based on game theory. *Annals of Fuzzy Mathematics and Informatics*, 11(3), 425-438.
- Demirtaş, N., & Dalkılıç O. (2019). An application in the diagnosis of prostate cancer with the help of bipolar soft rough sets. *2019 International Conference on Mathematics and Mathematics Education (ICMME)* (pp. 283-284), Konya.
- Demirtaş N., Hussain, S., & Dalkılıç, O. (2020). New approaches of inverse soft rough sets and their applications in a decision making problem. *Journal of Applied Mathematics and Informatics*, 38(3-4) 335-349.
- Irkin, R., Ozgur, N.Y., & Tas, N. (2018). Optimization of lactic acid bacteria viability using fuzzy soft set modelling. *An International Journal of Optimization and Control: Theories and Applications*, 8(2) 266-275.
- Kalaichelvi, A., & Malini, P.H. (2011). Application of fuzzy soft sets to investment decision making problem. *International Journal of Mathematical Sciences and Applications*, 1(3) 1583-1586.
- Karaca, F. & Taş, N. (2018). Decision making problem for life and non-life insurances. *Journal of Balikesir University Institute of Science and Technology*, 20(1) 572-588.
- Maji, P. K., Biswas, R., & Roy, A. R. (2001a). Fuzzy soft sets. *Journal of Fuzzy Mathematics* 9(3), 589–602.
- Maji, P. K., Biswas, R., & Roy, A. R. (2001b). Intuitionistic fuzzy soft sets. *The Journal of Fuzzy Mathematics* 9(3), 677–692.
- Molodtsov, D. A. (1999). Soft Set Theory–First Results. *Computers and Mathematics with Applications* 37(4–5), 19–31.
- Nihal, T., Özgür, N.Y., & Demir, P. (2017). An application of soft set and fuzzy soft set theories to stock management. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(3) 791-796.
- Özgür, N.Y., & Nihal, T. (2015). A note on application of fuzzy soft sets to investment decision making problem. *Journal of New Theory*, (7), 1-10.
- Saeed M., Ahmad M.R., Saqlain M., & Riaz, M. (2020). Rudiments N-framed soft sets. *Punjab University Journal of Mathematics*, 52(5) 15-30.
- Selvakumari, K. (2018). Solving game problem using weighted soft sets. *Journal of Computer and Mathematical Sciences*, 9(10), 1307-1311.
- Sulukan, E., Çağman, N., & Aydın, T. (2019). Fuzzy parameterized intuitionistic fuzzy soft sets and their application to a performance-based value assignment problem. *Journal of New Theory*, (29), 79-88.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zou, Y., & Xiao, Z. (2008). Data analysis approaches of soft sets under incomplete information. *Knowledge-Based Systems*, 21, 941–945. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2008.04.004>

## Kamu kurumlarında yönetici pozisyonları için AHP-PROMETHEE yöntemleri ile adayların değerlendirilmesi

*Evaluation of candidates for executive positions in public institutions with AHP-PROMETHEE methods*

**Fatih ÖZTÜRK\*<sup>1,a</sup>**

<sup>1</sup> İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34700, İstanbul

• Geliş tarihi / Received: 04.03.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 17.02.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 27.02.2022

### Öz

Kamu alanında hizmet üreten şirketlerin, verimli bir şekilde yönetilmesi hem sürdürülebilirlik hem de kamu zararının oluşmaması açısından önem arz etmektedir. Kamu şirketlerinin önceliği kazanç sağlamak olmadığından şirketlerin profesyoneller tarafından yönetilmesinin gereksiz olduğu gibi bir algı, gerçek anlamda üretilen hizmetin devamının sekteye uğramasına sebebiyet vermektedir. Çalışanların performansı, her şirkette olduğu gibi kamu şirketlerinde de önemli bir rol oynamaktadır. Bundan ötürü, ticari şirketlerin personel seçiminde kullandığı bilimsel metotların kamu şirketleri tarafından da kullanılması önemlidir. Bu çalışmada, kamu şirketlerinde yöneticilik gibi sürükleyici pozisyonlara atamalarda, liyakatin ön plana çıkmasını teşvik etmenin yanında, bu pozisyonlara atamalar için bir yöntem, bir anlayış oluşturulmaya çalışıldı. Genel kaniya göre kamuda personel atamada çalışma süresi ölçü olarak önem arz etmektedir. Hatta bazı atamalarda çalışma süresi esas şartı oluşturmaktadır. Bu çalışmada çalışma süresi, atama için gerekli olan kriterlerden birisi olmak ile birlikte tek başına bir anlam ifade etmemektedir. Çalışma AHP temelli PROMETHEE ile çözüme kavuşturulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** AHP, Çok kriterli karar verme, Personel seçimi, PROMETHEE

### Abstract

*Efficient management of companies that provide services in the public sector is important in terms of both sustainability and preventing public loss. Since the priority of public companies is not to make a profit, a perception that it is unnecessary for companies to be managed by professionals causes the continuity of the service produced to be interrupted. Employee performance plays an important role in public companies, as it does in every company. For this reason, it is important that the scientific methods used by commercial companies in the selection of personnel should also be used by public companies. In this study, it was tried to create a method and an understanding for assignments to these positions in addition to encouraging the merit to come to the fore in assignments to immersive positions such as management in public companies. According to the general opinion, working time is important as a measure in the appointment of personnel in the public sector. Even in some assignments, working time is the main must. In this study, although the working time is one of the criteria required for an appointment, it does not mean anything by itself. The study was resolved with AHP based PROMETHEE.*

**Keywords:** AHP, Multi-criteria decision making, Staff selection, PROMETHEE

\*a Fatih ÖZTÜRK; fatih.ozturk@medeniyet.edu.tr, Tel: (0216) 280 40 33, orcid.org/0000-0003-4113-055X

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Kamu alanında hizmet üreten kurumların verimli olarak işlevsellik kazanması yöneticilerinin yetkin kişilerden oluşması ile doğrudan ilişkilidir. Çalışanların performansı tüm kurumlarda olduğu gibi kamuya hizmet veren şirketlerde de müşteri memnuniyetinin iyi bir noktaya ulaşması açısından önem arz etmektedir (Öztürk, 2021; Kavak & Çelik, 2020). Kamu şirketlerinin işe alım ve mevcut personeli yükseltme ile ilgili yaklaşımları özel sektöre nazaran farklılıklar içermektedir. En bariz yaklaşım kamu şirketlerinde çalışma süresinin esas teşkil etmesi, buna karşılık özel sektörde çalışma süresi önemli yer edinmekle birlikte tek başına yeterli bir ölçüt olmamaktadır. Çalışan motivasyonunu artırmak ve sistemin daha üretken iş üretebilmesi için ataması yapılacak birim açısından liyakatli olduğu düşünülen her adayın, açık pozisyona başvuru yapıp, kriterler nezdinde değerlendirmeye tabi tutulacağı ve adaletli bir şekilde sonuçlandırılacağı sistemler daha verimli olacaktır. Bu çalışmada, belirlenen kriterler altında, belirli pozisyon için başvuru yapan adayların değerlendirilmesi, AHP temelli PROMETHEE metodu ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada personel seçimi için literatür taraması ve çalışmanın gerçekleştirildiği kamu kurumundaki uzman görüşleri doğrultusunda, 7 kriter açısından 13 Aday değerlendirilmiştir. Seçilen kriterleri şunlardır; Kurum Kültürü: Kurum çalışanları tarafından paylaşılan değerler, beklentiler ve normlar. İletişim Becerisi: Çalışanların etkili ve doğru bilgi paylaşımı. Mesleki Deneyim: çalışanların çalışma süreci. Problem Çözme Yetkinliği: Çalışanların sorunların çözülmesinde olabilecekler arasında amaca varmakta en etkili olanları seçme yeteneği. Takım Çalışması Yetkinliği: Çalışanların birlikte çalışıp hizmet üretebilme kabiliyetleri. Organizasyon Yetkinliği ve Kariyer Gelişimi: Çalışanların organizasyon kabiliyeti ve kariyer olanakları.

Yapılan literatür çalışmasında kamu şirketleri açısından böyle bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma ile şirket içi yükselme veya yatay pozisyon değişimlerine odaklanılarak, çalışmanın diğer çalışmalardan belirgin olarak ayrıştığı nokta ortaya çıkarılmaktadır. Kurum içi çalışanların barışı ve kurumların daha verimli olarak yönetilebilmesi için iç atamalarda da bilimsel yöntemlerin kullanılması farkındalık ve gelenek oluşturacaktır.

Personel seçimi ile ilgili olarak çeşitli yöntemlerin kullanıldığı çalışmaları literatürde görmekteyiz. Bu

çalışmalardan bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz; Bulanık MULTIMOORA (Kuşakçı vd., 2019), AHP (Akyurt, 2019), Bulanık TOPSIS (Akin, 2016), VIKOR, TOPSIS ve MOORA (Kaya & Öztürk 2020), GIA ve GANP (Köse vd., 2013), TOPSIS (Sarıkaya, 2019), AHP, GRA ve TOPSIS (Özcan vd., 2020), AHP ve Bulanık TOPSIS (Efe & Kurt, 2018), MOORA (Uğur, 2017), AHP (Ünal, 2011), AHP (Öneren vd., 2017), Bulanık VIKOR (Yıldız & Deveci, 2013), Bulanık TOPSIS (Degermenci & Ayvaz, 2016), AHP (Adıgüzel, 2009), ANP ve DEMATEL (Aksakal & Dağdeviren, 2013), Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS (Vatansever & Oncel, 2014), AHP (Gibney & Shang, 2007). Bulanık Boyut Analizi ve Bulanık VIKOR (Bali, 2013), AHP ve TOPSIS (Tarcan İçiğen & İpekçi Çetin, 2018), Bulanık AHP ve MOORA (Sezen Akar & Çakır, 2016), AHP-PROMETHEE (Bedir & Eren, 2015), GRI AHP ve MOORA (Çelikkilek, 2018), AHP ve VIKOR (Vural vd., 2020), AHP (Akkaya, 2010), Bulanık VIKOR (Öztürk & Kaya, 2020a), TOPSIS (Korkmaz, 2019), ARAS (Kenger & Organ 2017).

Mevcut çalışmamızda tercih ettiğimiz yöntem olan PROMETHEE ile yapılan bazı çalışmalarında şu şekilde sıralayabiliriz; Tedarikçi seçimi (Dağdeviren & Eraslan, 2008), En uygun panelvan otomobil seçimi (Soba, 2012). Afet sonrası toplanma alanlarının değerlendirilmesi (Öztürk & Kaya, 2020b), Gıda sanayi işletmesinin kuruluş yeri seçimi (Güler vd., 2014), Çalışanların iş motivasyonu (Öztürk & Altun, 2021), Binek aracı seçimi (Öztürk, 2020), Tedarikçi Seçimi (Şenkay & Hekimoğlu, 2013), Hafif ticari araç Seçimi (Ömürbek & Eren, 2014), Ülke riskinin değerlendirilmesi (Öz & Tükenmez, 2020), Faktörün Şirketi Seçimi (Bağcı & Esmer, 2016), Tedarikçi seçimi (Alkan vd., 2017), Gemi inşaada ana makine seçimi (Uzun & Kazan, 2016), Liman kuruluş yeri seçimi (Pekkaya & Bucak, 2018), Yatırım projesi değerlendirmesi (Kalender & Aygün, 2019), Portföy oluşturulması (Şahin & Akkaya, 2013), Banka performans ölçümü (Sarı, 2020), Akıllı telefon seçimi (Keçek & Yüksel, 2016), Lazer kesme makinelerinin karşılaştırılması (Özdağoğlu, 2013), Finansal performans analizi (Bülbül & Köse, 2016), Bursiyer Seçimi (Aslan & Bağ, 2021), Tesis yeri seçimi (Ekin & Okutman, 2021), Eğitim verimliliğinin değerlendirilmesi (Yüksel vd., 2017).

Kurumların yaşamsal süreçlerini yürütebilmek için farklı seviyelerde farklı kararlar alması gerekmektedir. Karar vericiler, karar verirken bilimsel metotları ne kadar önceler ve kullanırsa elde edilen sonuçlarda kurum menfaatleri

açısından o kadar yüz güldüren sonuçlar vermektedir (Öztürk, 2014).

## 2. Yöntem

### 2. Method

Bu çalışmada AHP yöntemiyle ağırlıklar ortaya çıkartılarak PROMETHEE yöntemiyle açık pozisyon için başvuran adayların seçim işlemi gerçekleştirilmiştir.

### 2.1. AHP Yöntemi

#### 2.1.AHP Method

Çok kriterli karar verme metotlarından biri olan AHP, ilk olarak Thomas L. Saaty tarafından ortaya konulmuştur (Saaty, 1990, 2002). Birçok çok kriterli karar verme tekniğinin uygulanmasında AHP kriterlerin ağırlıklandırılması için temel olarak tercih edilmektedir.

Çok sayıda metoda temel oluşturan AHP aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Saaty 2000):

1. Hiyerarşik Yapının kurulması
2. Önceliklerin netleştirilip ortaya konulması
3. İkili Karşılaştırma Matrisi ve Çözümün gerçekleştirilmesi
4. Normalleştirme ve Görelî Önem Ağırlıkları
5. Tutarlılık Oranının hesaplanarak kontrol edilmesi

6. Son olarak sıranın ortaya konulması

## 2.2. PROMETHEE Yöntemi

### 2.2.PROMETHEE Method

Tablodaki PROMETHEE yöntemi, kolay uygulanabilir olması ve birbiriyle çelişen kriterler bakımından mukayese icap eden problemlere kolayca uyum sağlayabilmesi bakımından tercih edilmektedir (Onan, 2014). PROMETHEE metodu, karar noktalarının, değerlendirme faktörleri açısından ikili mukayeselerini temel alan bir yöntemdir (Bedir & Eren, 2015).

PROMETHEE yöntemi aşağıda ifade edildiği gibi 7 aşamadan oluşmaktadır (Dağdeviren & Eraslan, 2008). Problemin tanımlanmasının ardından alternatifler, kriterler ve ağırlıkların tespit edilmesi ile birlikte uygulama aşamalarına geçilebilir (Soba, 2012);

1. Adımda, alternatifler, kriterler, kriter ağırlıkları ve alternatiflerin ilgili kriterlere göre değerleri veri matrisi halinde gösterilir.

2. Adımda, Kriterler için tercih fonksiyonları, şekil 1'de gösterilen fonksiyonlar arasından kriterin özelliğine ve alternatiflerde kriter esasında istenilen özelliklere göre tespit edilir.

Tip	Parametreler	Fonksiyon	Grafik, $p(x)$
Birinci Tip (Olağan)	-	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$	
İkinci Tip (U-tipi)	L	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1 \\ 1, & x > 1 \end{cases}$	
Üçüncü Tip (V-tipi)	M	$p(x) = \begin{cases} x/m, & x \leq m \\ 1, & x > m \end{cases}$	
Dördüncü Tip (Seviyeli)	q, p	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1/2, & q < x \leq q+p \\ 1, & x > q+p \end{cases}$	
Beşinci Tip (Doğrusal)	s, r	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s \\ (x-s)/r, & s < x \leq s+r \\ 1, & x > s+r \end{cases}$	
Altıncı Tip (Gaussian)	σ	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-x^2/2\sigma^2}, & x \geq 0 \end{cases}$	

Şekil 1. PROMETHEE tercih fonksiyonları (Brans & Vincke, 1985)

Figure 1. PROMETHEE preference functions

3. Adımda, alternatif grubunda mevcut olan alternatif çiftleri için ortak tercih fonksiyonları seçilir.

4. Adımda, seçilen ortak tercih fonksiyonlarından yola çıkılarak her alternatif çifti için tercih indeksleri tespit edilir.

5. Adımda, alternatifler için pozitif ( $\Phi^+$ ) ve negatif ( $\Phi^-$ ) değerler ortaya konulur.

6. Adımda, PROMETHEE I ile kısmi öncelikler ortaya konulur. Kısmi öncelikler, alternatif grubundaki alternatiflerin, birbirlerine nazaran seçilme konumlarını, birbirinden farkı olmayan alternatifleri ve birbirleriyle mukayese edilemeyecek olan alternatiflerin belirlenmesine olanak sağlıyor. Anlaşılması için; a ve b alternatif grubunda mevcut iki alternatif olarak kısmi önceliklerin ortaya konulmasında aşağıdaki durumlar söz konusu olur.

Sağlanan durumlar,  $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$  ve  $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$ ,  $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$  ve  $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$ ,  $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$  ve  $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$  ifadesi şeklinde ise, a alternatifi b alternatifine göre yeğlenir.

Sağlanan durum  $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$  ve  $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$  ifadesi şeklinde ise, a alternatifi b alternatifinden farkı yoktur.

Sağlanan durum  $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$  ve  $\Phi^-(a) > \Phi^-(b)$   $\Phi^+(a) < \Phi^+(b)$  ve  $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$  ifadesi şeklinde ise, a alternatifi b alternatifi ile karşılaştırma yapılamaz.

7. Adımda, PROMETHEE II ile alternatiflere yönelik net öncelikler aşağıdaki ifade edildiği ortaya çıkarılır. Hesaplanan net öncelik değeri ile alternatif grubunda mevcut tüm alternatifleri aynı düzlemde değerlendirerek tam sıralama ortaya koyulur.

$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a)$ , a ve b alternatif grubunda mevcut iki alternatif iken hesaplanan net öncelik değerine göre şu kararlar alınır;

$\Phi(a) > \Phi(b)$  şeklinde ise a alternatifi daha üstündür.

**Tablo 2.** Adayların kriterler açısından skorlanması

**Table 2.** Scoring of candidates in terms of criteria

Adaylar	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A1	2	1	8	5	4	9	3
A2	5	1	3	2	9	8	7
A3	1	3	2	5	6	4	8
A4	9	8	1	3	4	5	7
A5	8	9	2	1	4	7	3
A6	6	9	8	7	1	5	3
A7	1	2	5	3	6	8	7
A8	7	6	5	4	9	8	2
A9	5	6	2	3	9	8	4
A10	4	3	2	8	5	6	7
A11	3	9	7	5	8	6	2
A12	8	9	5	4	6	5	3
A13	7	6	2	3	4	5	8

Adayların, kriterler açısından skorlanmasının ardından, kriterlerin ikili karşılaştırmaları gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar Tablo 3’de ifade edilmektedir.

$\Phi(a) = \Phi(b)$  şeklinde ise a ve b alternatifleri farksızdır

$\Phi^+$  : Pozitif üstünlük

$\Phi^-$  : Negatif üstünlük

### 3. Uygulama

#### 3. Application

PROMETHEE ile çözüme ulaşmadan önce AHP ile Kriterlerin ağırlıkları tespit edilir (Öztürk & Biçer, 2021). Çalışmada belirlenen kriterler, personel seçimi ile ilgili yapılan çalışmaların incelenmesi ile literatür taraması ve uzmanların görüşleri doğrultusunda seçilmiştir.

Saaty, (1980) tarafından ortaya koyulan Tablo 1’de ki “1-9 ölçeği” kullanılarak uzmanlardan elde edilen değerlendirme cevaplarının geometrik ortalamaları hesaplanarak, Tablo 2 ‘de kriterlerin ikili karşılaştırmaları skorlanmıştır.

**Tablo 1.** Saaty 1-9 ölçeği

**Table 1.** Saaty 1-9 scale

Önem Seviyeleri	Tanımları
1	Eşit Önemde
3	Biraz Daha Önemli
5	Oldukça Önemli
7	Çok Önemli
9	Son Derece Önemli
2,4,6,8	Ara Değerler

Alternatifler, kriterlere göre kıyaslanarak, Tablo 2 oluşturulur.



**Tablo 3.** Kriterlerin karşılaştırma matrisi  
**Table 3.** Comparison matrix of criteria

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	1.0000	3.0000	0.1667	0.1667	0.3333	0.3333	3.0000
K2	0.3333	1.0000	0.3333	0.1429	0.2500	0.2500	2.0000
K3	4.0000	3.0000	1.0000	3.0000	2.0000	3.0000	3.0000
K4	4.0000	4.0000	0.3333	1.0000	3.0000	3.0000	3.0000
K5	3.0000	4.0000	0.5000	0.3333	1.0000	4.0000	2.0000
K6	3.0000	4.0000	0.3333	0.3333	0.2500	1.0000	2.0000
K7	0.3333	0.5000	0.3333	0.3333	0.5000	0.5000	1.0000

Ortaya konulan ikili karşılaştırma matrisleri, bu aşamada normalize edilir. Elde edilen normalize edilmiş matris ve kriterlerin ağırlıkları Tablo 4’de ki gibi ifade edilir.

**Tablo 4.** Normalize edilmiş matris ve kriterlerin ağırlıkları  
**Table 4.** Normalized matrix and weights of criteria

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	w
K1	0.0638	0.1538	0.0556	0.0314	0.0455	0.0276	0.1875	0.0807
K2	0.0213	0.0513	0.1111	0.0269	0.0341	0.0207	0.1250	0.0558
K3	0.2553	0.1538	0.3333	0.5650	0.2727	0.2483	0.1875	0.2880
K4	0.2553	0.2051	0.1111	0.1883	0.4091	0.2483	0.1875	0.2293
K5	0.1915	0.2051	0.1667	0.0628	0.1364	0.3310	0.1250	0.1741
K6	0.1915	0.2051	0.1111	0.0628	0.0341	0.0828	0.1250	0.1161
K7	0.0213	0.0256	0.1111	0.0628	0.0682	0.0414	0.0625	0.0561

Normalize edilmiş matrisin ve ağırlıkların hesaplanmasının ardından tutarlılık analizi yapılarak kriter ağırlıklandırılmalarının doğruluğu ortaya çıkarılır. Tablo 5’de hesaplanan değerler

yerine konulduğunda CR oranının 0.1001 bulunur. Bu değer istenilen değeri sağladığı görülür. Tutarlılık analizi yapılırken Tablo 6’de ki rassallık tablosu kullanılır.

**Tablo 5.** Tutarlılık hesap tablosu  
**Table 5.** Consistency spreadsheet

$d_i$	$W_i$	$Aw/W_i$	$\lambda_{max}$	$CI$	$CR$
0.60	0.0807	7.4231	7.8104	0.1351	0.1001
0.40	0.0558	7.1049			
2.33	0.2880	8.0925			
1.91	0.2293	8.3314			
1.44	0.1741	8.2510			
0.91	0.1161	7.8371			
0.43	0.0561	7.6330			

**Tablo 6.** Rassallık indeks sayıları  
**Table 6.** Randomness index numbers

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Rassallık Göstergesi	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57

$CR = \text{tutarlılık oranı} = \frac{CI}{RI} = \frac{((\lambda_{max}-n)/(n-1))}{RI}$   
denklemleri kullanılarak tutarlılık oranı  $CR = 0.1001$  olarak bulunur.  $CR < 0.1$  değerleri için güvenilir ve gerçekçi sonuçlar elde edileceğinden ötürü elde ettiğimiz tutarlılık oranı ağırlıklandırmanın tutarlı olduğunu göstermektedir.

AHP ile kriterlerin ağırlıkları elde edilmesinin ardından kriter ağırlıkları bir sonraki aşama olan PROMETHEE yöntemi ile istenilen kriterlere göre adayların sıralaması gerçekleştirilir. Visual PROMETHEE Academic programı ile gerçekleştirilen çalışmanın alternatif ve kriter ağırlıkları Şekil 2’de ki gibi programa yazılır. Şekil

2’de ki K değerleri sırasıyla; K1: Kurum Kültürü. K2: İletişim Becerisi. K3: Mesleki deneyim. K4: Problem Çözme Yetkinliği. K5: Takım Çalışması

Yetkinliği. K6: Organizasyon yetkinliği. K7: Kariyer gelişimi olarak ifade edilmektedir.

Scenario1	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<b>Preferences</b>							
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max
Weight	0,08	0,06	0,29	0,23	0,17	0,12	0,06
Preference Fn.	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
- P: Preference	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Statistics</b>							
<b>Evaluations</b>							
<input checked="" type="checkbox"/> Aday 1	2,00	1,00	8,00	5,00	4,00	9,00	3,00
<input checked="" type="checkbox"/> Aday 2	5,00	1,00	3,00	2,00	9,00	8,00	7,00
<input checked="" type="checkbox"/> Aday 3	1,00	3,00	2,00	5,00	6,00	4,00	8,00
<input checked="" type="checkbox"/> Aday 4	9,00	8,00	1,00	3,00	4,00	5,00	7,00
<input checked="" type="checkbox"/> Aday 5	8,00	9,00	2,00	1,00	4,00	7,00	3,00
<input checked="" type="checkbox"/> Aday 6	6,00	9,00	8,00	7,00	1,00	5,00	3,00
<input checked="" type="checkbox"/> Aday 7	1,00	2,00	5,00	3,00	6,00	8,00	7,00
<input checked="" type="checkbox"/> Aday 8	7,00	6,00	5,00	4,00	9,00	8,00	2,00
<input checked="" type="checkbox"/> Aday 9	5,00	6,00	2,00	3,00	9,00	8,00	4,00
<input checked="" type="checkbox"/> Aday 10	4,00	3,00	2,00	8,00	5,00	6,00	7,00
<input checked="" type="checkbox"/> Aday 11	3,00	9,00	7,00	5,00	8,00	6,00	2,00
<input checked="" type="checkbox"/> Aday 12	8,00	9,00	5,00	4,00	6,00	5,00	3,00
<input checked="" type="checkbox"/> Aday 13	7,00	6,00	2,00	3,00	4,00	5,00	8,00

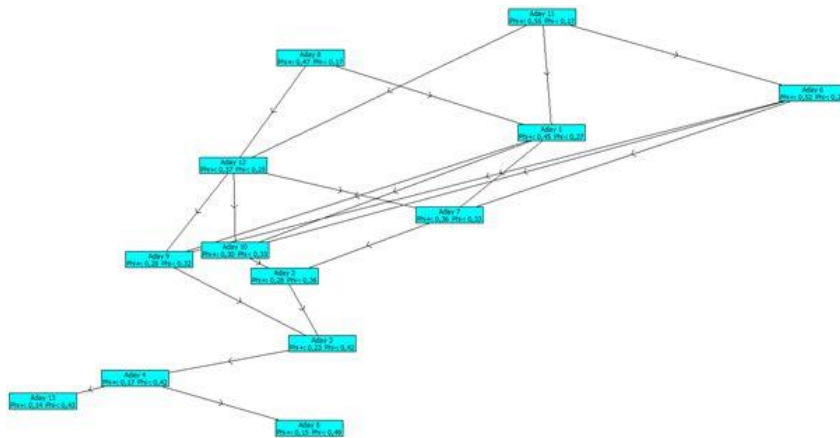
Şekil 2. Alternatif ve kriterlerin işlendiği PROMETHEE ekranı

Figure 2. PROMETHEE screen where alternatives and criteria are processed

Çalışma Visual PROMETHEE Academic yazılımı ile değerlendirilip PROMETHEE I ve PROMETHEE II’ye göre sonuçlar irdelenmiştir. PROMETHEE I ile yapılan kısmi sıralamaya göre skor sonuçları sıralaması Şekil 3’de yer almaktadır.

PROMETHEE I yöntemine göre performans sıralaması yukarıdan aşağıya doğru ifade edilmiştir.

Aday 11, 8, 6 ve 1 üstte olmasından ötürü kriterlere uygunluk açısından daha uygun görülmektedir. Aday 5, 13 ve 4 ise alt kısımlarda yer almalarından ötürü tercih edilme olasılıkları düşüktür. Elde edilen bu skorlarda PROMETHEE II yöntemine göre belirlenir. Böylelikle hangi adayın açık pozisyon için daha olduğu görülür.

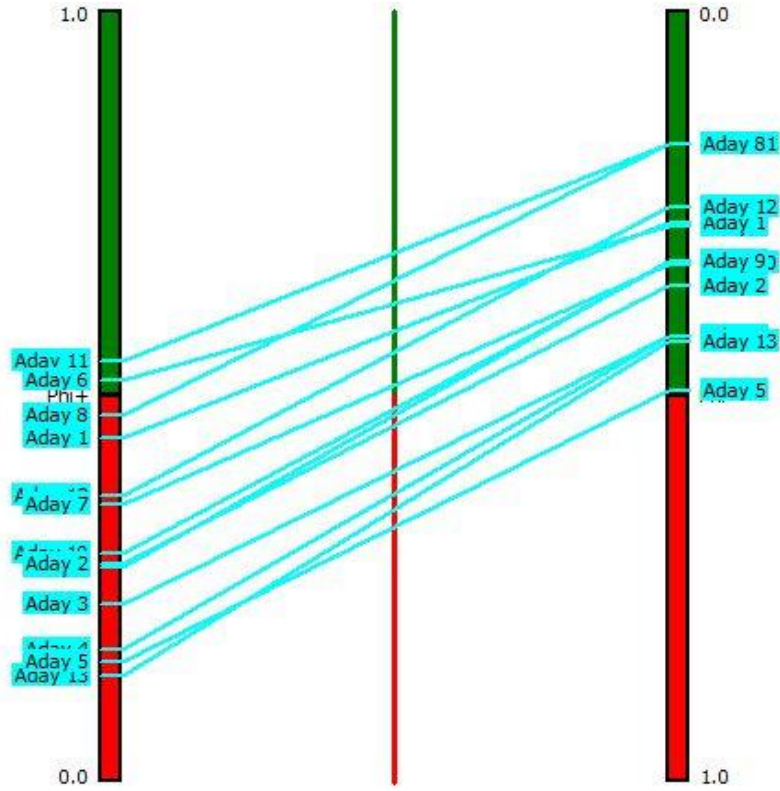


Şekil 3. PROMETHEE I skorları

Figure 3. PROMETHEE I scores

Şekil 4’de PROMETHEE II tam sıralama skorları gösterilmiştir. Phi skorları -1 ve +1 arasında değişmektedir. Sıfırın altında kalanlar düşük

üstünde kalanlar ise yüksek performans göstermişlerdir.



Şekil 4. PROMETHEE II skorları düzlemi  
Figure 4. PROMETHEE II scores plane

Şekil 5’de gösterilen PROMETHEE II ile belirlenen tam sıralama sonucuna göre açık pozisyona en yetkin adayın 11 numaralı aday olduğu görülmektedir. Ardından 8 ve 6 numaralı

adayında değerlendirilebileceğini görmekteyiz. İstenilen kriterlere en uzak olan adaylar ise 4, 13 ve 5 numaralı adaylar olduğu görülmektedir.

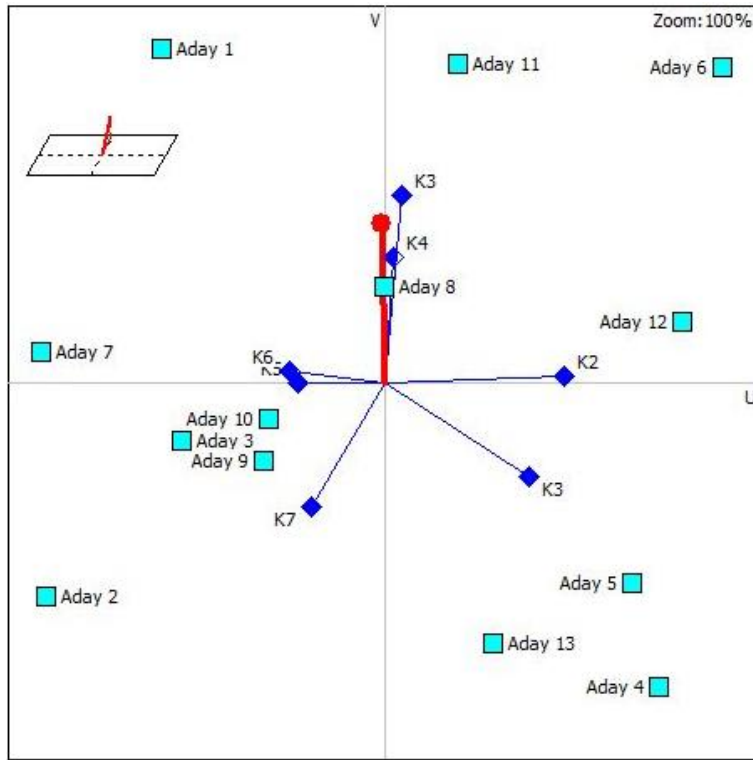
Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Aday 11	0,3724	0,5455	0,1731
2	Aday 8	0,3019	0,4748	0,1729
3	Aday 6	0,2406	0,5210	0,2803
4	Aday 1	0,1717	0,4465	0,2748
5	Aday 12	0,1154	0,3697	0,2543
6	Aday 7	0,0301	0,3601	0,3300
7	Aday 10	-0,0314	0,2965	0,3279
8	Aday 9	-0,0476	0,2769	0,3244
9	Aday 2	-0,0760	0,2819	0,3578
10	Aday 3	-0,1929	0,2292	0,4221
11	Aday 4	-0,2523	0,1708	0,4231
12	Aday 13	-0,2924	0,1367	0,4291
13	Aday 5	-0,3396	0,1539	0,4934

Şekil 5. PROMETHEE II ile toplanma alanlarının tam sıralaması  
Figure 5. The exact order of assembly areas with PROMETHEE II

Aday alternatiflerinin k boyutlu uzayda ortaya konulmasının ardından Temel Bileşenler Analizi kullanılarak alternatif ve kriterlerin daha net anlaşılabilir bir şekil ile karar vericilere gösterilebilmesi için k boyutlu uzaydan iki boyutlu bir düzlem üzerine izdüşümleri hesaplanarak ortaya konulur. Alternatif ve kriterlerin durumlarının kolayca ve net bir şekilde görüldüğü bu düzlem GAIA düzlemi olarak adlandırılır (Genç, 2013).

GAIA düzlemi iki boyutlu şekilde sonuçları göstermektedir. U düzlemi X eksenini, V düzlemi Y eksenini olarak ifade edilmektedir. Kırmızı renkteki çizgi GAIA düzlemindeki en uygun noktayı göstermektedir. Kırmızı noktaya en yakın değerler

en elverişli seçimlerdir. Buna karşılık kırmızı noktadan uzaklaştıkça elverişlilikten uzaklaştığını gösterir. Adayların elverişli noktaya olan uzaklık ve yakınlıkları GAIA düzlemine bakılarak görülebilir. Şekil 6' da gösterilen turkuaz renkli kutular adayları kod isimleri ile ifade etmektedir. GAIA düzlemi kriterlerinde değerlendirilmesi açısından karar vericilere fikir vermektedir. Yine Şekil 6' da görülen mavi çizgiler kriterleri temsil etmektedir. GAIA düzleminde hangi adayın hangi kriter açısından üstün olduğunu kriterleri gösteren mavi çizgiler vasıtasıyla görülebilir. Mesleki deneyim ve Problem çözme yetkinliği açısından Aday 1, 8 ve 11 ön sırada görülürken iletişim becerisi açısından Aday 12 elverişli görülmektedir.



Şekil 6. Adaylar için GAIA düzlemi  
Figure 6. GAIA plane for candidates

#### 4. Sonuçlar

##### 4. Conclusions

Kamu alanında hizmet üreten kurumların verimli olarak yönetilmesi hem sürdürülebilirlik hem de kamu zararının oluşmaması açısından önem arz etmektedir (Ayvaz vd., 2018). Kamu şirketlerinin önceliği kâr gütmek olmadığından kurumun profesyoneller tarafından yönetilmesinin gereksiz olduğu algısı üretilen hizmetin devamının sekteye uğramasına sebebiyet vermektedir. Çalışanların performansı her kurumda olduğu gibi kamu kurumlarında da önemli rol oynamaktadır (Öztürk

& Ünver, 2020). Bu bağlamda kamu kurumlarının personel istihdamında bilimsel metotları önceleyerek iş odaklı personel seçimi gerçekleştirmeleri uygun politika olacaktır. AHP temelli PROMETHEE metodu ile gerçekleştirilen bu çalışma kamu kurumlarındaki karar vericilere alternatif personel seçim süreçlerini göstermek ve bu konuda adım atmalarını cesaretlendirmek açısından önem arz etmektedir. Ayrıca yöneticilerin çalışacakları ekibin seçiminde bilimsel yöntemleri dikkate alması ile seçim yapmaları hem işlerin daha doğru ve verimli yapılmasını hem de çalışanlar arasındaki adalet

duygusunu pekiştirecektir. Kurumsal yapının oluşmasında ve mevcut kurumsal yapıların daha da sağlamlaşmasında personel seçiminin doğru yapılması önem arz etmektedir. Bu çalışma ile literatür araştırması ve uzmanlar ile yapılan görüşmeler doğrultusunda 7 kriter açısından 13 Aday değerlendirildi. Seçilen kriterler; Kurum Kültürü, İletişim Becerisi, Mesleki Deneyim, Problem Çözme Yetkinliği, Takım Çalışması Yetkinliği, Organizasyon Yetkinliği ve Kariyer Gelişimi.

Yapılan literatür araştırmasında kamu kurumları bağlamında personel geçişkenliği açısından personel performans değerlendirmesinin ele alındığına rastlanılmamış olması çalışmanın özgünlüğü açısından önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Bu çalışma ile kurum içi yükselme ve/veya yatay pozisyon değişikliklerine odaklanılarak kurum içi barışın ve verimliliğin belirgin olarak artırılmasına odaklanılmıştır. Kurum içi çalışanların barışı ve kurumların daha verimli olarak yönetilebilmesi için bilimsel yaklaşım olumlu bir tavır olacaktır. Ek olarak bu çalışma kurum içi atamalarda da bilimsel yöntemlerin kullanılması için farkındalık ve gelenek oluşturacaktır.

### Etik beyanı

#### Declaration of ethical code

Bu çalışmada, Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederim.

### Çıkar çatışma beyanı

#### Conflicts of interest

Bu çalışmada çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

### Kaynaklar

#### References

- Adıgüzel, O. (2009). Personel seçiminin analitik hiyerarşi prosesi yöntemiyle gerçekleştirilmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 24, 243–252.
- Akın, N.G. (2016). Personel seçiminde çok kriterli karar verme: Bulanık TOPSIS uygulaması. *Journal of Business Research-Turk*, 8(2), 224–224. <https://doi.org/10.20491/isarder.2016.177>

- Akkaya, G. (2010). Analitik hiyerarşi yöntemi ile personel seçimi ve bir uygulama. *Verimlilik Dergisi*, (4), 0-0.
- Aksakal, E., & Dağdeviren, M. (2013). ANP ve DEMATEL yöntemleri ile personel seçimi problemine bütünlük bir yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 905-913.
- Akyurt, H. (2019). Analitik hiyerarşi seçim yöntemi ile otel personeli seçimi kriterlerinin değerlendirilmesi: Giresun ili örneği. *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi, Ekim 2019 Özel Sayısı*, 64-78. <https://doi.org/10.21733/ibad.603290>
- Alkan, A., Kasımoğlu, H.Ç., Çelik, C., & Aladağ, Z. (2017). AHP ve PROMETHEE yöntemleri ile lastik üreticisi bir firma için tedarikçi seçimi. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 261-269. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.284227>
- Aslan, E., & Bağ, M. E. (2021). Çok kriterli karar verme yöntemleri AHP ve PROMETHEE ile bursiyer seçimi. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(4), 2301-2313. <https://doi.org/10.33206/mjss.748963>
- Ayvaz, B., Kuşakçı, A.O., Öztürk, F., & Sırakaya, M. (2018). Biyodizel tedarik zinciri ağ tasarımı için çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önerisi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(4), 55-70. <https://doi.org/10.17482/uumfd.455307>
- Bağcı, H., & Esmer, Y. (2016). PROMETHEE yöntemi ile faktörün şirketi seçimi. *Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(2), 116–129. <https://doi.org/10.18221/bujss.14955>
- Bali, Ö. (2013). Bulanık boyut analizi ve bulanık VIKOR ile bir ÇNKV modeli: personel seçimi problemi. *Kara Harp Okulu Bilim Dergisi*, 23(2), 125-149.
- Bedir, N., & Eren, T. (2015). AHP-PROMETHEE yöntemleri entegrasyonu ile personel seçim problemi: Perakende sektöründe bir uygulama. *Social Sciences Research Journal*, 4(4), 46–58.
- Brans, J.P. & Vincke, P. (1985). A preference ranking organisation method: (The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making). *Management Science*, 31(6), 647-656.
- Bülbül, S.E., & Köse, A. (2016). Türk sigorta sektörünün PROMETHEE yöntemi ile finansal performans analizi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 38(1), 187-210. <https://doi.org/10.14780/iibd.29194>

- Çelikkbilek, Y. (2018). Personel seçimi için bütünlük Gri AHP–MOORA yaklaşımının kullanılması: Sağlık sektöründe yönetici seçimi üzerine bir uygulama. *Alphanumeric Journal*, 6(1), 69-82. <https://doi.org/10.17093/alphanumeric.378904>
- Dağdeviren, M., & Eraslan, E. (2008). PROMETHEE sıralama yöntemi ile tedarikçi seçimi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23(1), 69–75.
- Degermenci, A., & Ayvaz, B. (2016). Bulanık ortamda TOPSIS yöntemi ile personel seçimi: Katılım bankacılığı sektöründe bir uygulama. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 15(30), 77–93.
- Efe, B., & Kurt, M. (2018). Bir liman işletmesinde personel seçimi uygulaması. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 8(2), 417–427.
- Ekin, E., & Okutkan, C. (2021). PROMETHEE yöntemi ile tesis yeri seçim probleminde ilişkin bir uygulama. *Gaziantep Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(1), 46-58.
- Genç, T. (2013). PROMETHEE Yöntemi ve GAIA düzlemi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15(1), 133–154.
- Gibney, R., & Shang, J. (2007). Decision making in academia: A case of the dean selection process. *Mathematical and Computer Modelling*, 46(7–8), 1030–1040. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2007.03.024>
- Guler, D., Adanacioğlu, H., Saner, G., & Azak, Ş. (2014). PROMETHEE yöntemi ile gıda sanayi işletmesinin kuruluş yeri seçiminin belirlenmesi: Kuru domates işletmesi örneği. *I. Uluslararası Katılımlı Proje Yönetimi Konferansı- Proje Yönetim Zirvesi içinde* (ss. 92–101), İstanbul
- Kalender, F. Y., & Aygün, F. (2019). PROMETHEE Sıralama yöntemi ile yatırım projesi değerlendirme ve üretim sektöründe uygulanması. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 9(2), 183-208.
- Kavak, H., & Çelik, M. (2020). İşletmelerde korku kültürü ve yönetimi. *Mecmua*, 9, 174-198. <https://doi.org/10.32579/mecmua.664215>
- Kaya, G.K., & Öztürk, F. (2020). A comparison of the multi-criteria decision-making methods for the selection of researchers. *V. Global Conference on Industrial Engineering*, Antalya
- Keçek, G., & Yüksel, R. (2016). Analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve PROMETHEE teknikleriyle akıllı telefon seçimi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (49), 46-62.
- Kenger, M. D., & Organ, A. (2017). Banka personel seçiminin çok kriterli karar verme yöntemlerinden entropi temelli ARAS yöntemi ile değerlendirilmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4(4), 152–170. <https://doi.org/10.30803/adusobed.336215>
- Korkmaz, O. (2019). Personnel selection method based on TOPSIS multi-criteria decision making method. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 23, 1-16. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.468486>
- Köse, E., Aylak, H.S., & Kabak, M. (2013). Personel seçimi için Gri sistem teoreti tabanlı bütünlük bir yaklaşım. *Ege Akademik Bakış*, 13(4), 461-471.
- Kuşakçı, A.O., Ayvaz, B., Öztürk, F., & Sofu, F. (2019). Bulanık MULTIMOORA ile personel seçimi: Havacılık sektöründe bir uygulama. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 96–110. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.516835>
- Onan, A. (2014). PROMETHEE sıralama yönteminin konut projelerinin değerlendirilmesinde kullanılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(1), 17–28.
- Ömürbek, N., & Eren, H. (2014). AHP temelli PROMETHEE sıralama yöntemi ile hafif ticari araç seçimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(4), 47–64.
- Öneren, M., Arar, T., & Çelebioğlu, E.S. (2017). Akademik ortamın temelini güçlü kılmak: Araştırma görevlisi alımındaki faktörlerin AHP ile belirlenmesi. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(1), 39-50.
- Öz, O., & Tükenmez, N.M. (2020). Ülke riskinin PROMETHEE yöntemi ile değerlendirilmesi. *İzmir YMMO Dergisi*, 2(2), 46-70.
- Özcan, İ., İnan, U.H., & Korkusuz, A.Y. (2020). Çok kriterli karar verme yöntemleriyle metro sürücüsü seçimi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 15(3), 1185-1202. <https://doi.org/10.17153/oguiibf.573735>
- Özdoğan, A. (2013). Üretim işletmelerinde lazer kesme makinelerinin PROMETHEE yöntemi ile karşılaştırılması. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 9(19), 305-318. <https://doi.org/10.11122/ijmeh.2013.9.19.288>
- Öztürk, F. (2014). Qualität, effizienzsteigerung und integrierte managementsystemen im türkischen eisenbahnsektor. *Social and Natural Sciences Journal*, 8(2),14-19.

- Öztürk, F. (2020). An integrated AHP and PROMETHEE approach to select the most suitable automobile for consumers. C. Çivi, & T. Yılmaz (Ed.), *Engineering and Architecture Sciences Theory, Current Researches and New Trends* (ss.186-194), IVPE publishing.
- Öztürk, F. (2021). A hybrid type-2 fuzzy performance evaluation model for public transport services. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46, 10261–10279. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05687-4>
- Öztürk, F., & Altun Y. (2021). Çalışanların iş motivasyonunun AHP temelli TOPSIS, VIKOR ve PROMETHEE ile değerlendirilmesi, *Seljuk Summit 4th International Applied Sciences Congress* (ss.40-65), Istanbul.
- Öztürk, F., & Biçer, S. (2021). Evaluation of sediment dredging and removal methods in streams downstream of the marmara sea with AHP and TOPSIS. M. Dalkılıç (Ed.) *Scientific Developments for Social and Education Sciences* (ss.224-239), Duvar publishing
- Öztürk, F., & Kaya, G.K. (2020a). Bulanık VIKOR ile personel seçimi: otomotiv yan sanayiinde uygulama. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8(1), 94-108. <https://doi.org/10.29109/gujsc.595288>
- Öztürk, F., & Kaya, G.K. (2020b). Afet sonrası toplanma alanlarının PROMETHEE metodu ile değerlendirilmesi. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 25(3), 1239-1252. <https://doi.org/10.17482/uumfd.697097>
- Öztürk, F., & Ünver, S. (2020). Supplier selection with fuzzy AHP, *4th International Erciyes Conference on Scientific Research* (ss. 260-272), Kayseri.
- Pekkaya, M., & Bucak, U. (2018). Çok kriterli karar verme yöntemleriyle bölgesel liman kuruluş yeri seçimi: Batı Karadeniz’de bir uygulama. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*. 18. EYİ(Özel Sayı), 253–268. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.353653>
- Saaty. T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill. USA.
- Saaty. T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- Saaty. T. L. (2000). *Decision making for leaders*. RWS Publications. 1999/2000 Edition. Pittsburgh.
- Saaty. T. L. (2002). Decision making with the analytic hierarchy process. *Scientia Iranica*, 9(3). 215-229.
- Sarı, T. (2020). Banka performans ölçümünde TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinin karşılaştırılması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 34(1), 99-117. <https://doi.org/10.16951/atauniiibd.480238>
- Sarıkaya, K. (2019). Araştırma Üretkenliğine dayalı olarak bulanık TOPSIS yöntemi ile akademik personel seçimi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 8(3), 167-179.
- Sezen Akar, G., & Çakır, E. (2016). Lojistik sektöründe bütünleştirilmiş bulanık AHP-MOORA yaklaşımı ile personel seçimi. *Journal of Management and Economics Research*, 14(2), 185-199.
- Soba, M. (2012). PROMETHEE yöntemi kullanarak en uygun panelvan otomobil seçimi ve bir uygulama. *Journal of Yaşar University*, 7(28). 4708–4721.
- Şahin, A., & Akkaya, C. G. (2013). PROMETHEE sıralama yöntemi ile portföy oluşturma üzerine bir uygulama. *Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 67-81.
- Şenkay, H., & Hekimoğlu, H. (2013). Çok kriterli tedarikçi seçimi problemine PROMETHEE yöntemi uygulaması. *Verimlilik Dergisi* 12, 63-80.
- Tarcan İçigen, E., & İpekçi Çetin, E. (2018). AHP temelli TOPSIS yöntemi ile konaklama işletmelerinde personel seçimi. *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(13), 179-187.
- Uğur, L.O. (2017). MOORA optimizasyon yaklaşımı ile inşaat proje müdürü seçimi: Çok kriterli bir karar verme uygulaması. *Politeknik Dergisi*, 20(3), 717-723. <https://doi.org/10.2339/politeknik.339408>.
- Uzun, S., & Kazan, H. (2016). Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP TOPSIS ve PROMETHEE karşılaştırılması: Gemi inşada ana makine seçimi uygulaması. *Journal of Transportation and Logistics*, 1(1), 99–113. <https://doi.org/10.22532/jtl.237889>
- Ünal, Ö.F. (2011). Analitik hiyerarşi prosesi ve personel seçimi alanında uygulamaları. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 3(2), 18-38.
- Vatansever, K., & Oncel, M. (2014). İmplementation of integrated multi-criteria decision making techniques for academic staff recruitment. *Journal of Management. Marketing and Logistics*, 1(2), 111–126.
- Vural, D., Köse, E., & Bayam, B. (2020). AHP ve VIKOR yöntemleri ile personel seçimi. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(21), 70-89.

Yıldız, A., & Deveci, M. (2013). Based on fuzzy VIKOR approach to personnel selection process. *Ege Academic Review*, 13(4), 427-436.

Yüksel, M., Dağdeviren, M., & Kabak, M. (2017). Education efficiency evaluation based on

PROMETHEE: A case study for chemistry education. *19th International Conference on Researches in Science Technology (ICRST)*, (ss.51), Barcelona.



## Investigation of microstructural change and damping behaviour of Zn–27Al–1Cu alloy in different aging periods

*Zn–27Al–1Cu alaşımının farklı yaşlandırma periyotlarında mikroyapısal değişiminin ve darbe davranışının incelenmesi*

Fatih ŞENASLAN\*<sup>1,a</sup>, Murat AYDIN<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> Gümüşhane University, Engineering and Natural Sciences Faculty, Department of Mechanical Engineering, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup> Karadeniz Technical University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 07.10.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 22.02.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 28.02.2022

### Abstract

The ternary Zn–27Al–1Cu alloy is produced from raw materials by the gravity casting method. The produced alloy was subjected to aging after solutionizing and quenching. The effect of aging at different periods on the microstructure and damping behaviour of the alloy was investigated. The microstructural investigations revealed that the microstructure of the alloy in the as-cast state consisted of aluminium(Al)-rich  $\alpha$  dendrites surrounded by eutectoid  $\beta$  phase, and zinc(Zn)-rich  $\eta$  phase and copper(Cu)-rich  $\epsilon$  phase. The heat treatment eliminated the dendritic microstructure of the casting alloy and transformed it into a coarse-grained ( $\beta$ -matrix) stable form containing Zn-rich and Cu-rich precipitates. The microstructural changes after aging process were directly affected the mechanical properties of the alloy. The hardness and tensile strength increased with increasing ageing time up to 2.5 hours, but the percent elongation decreased. When the aging time reached 5 hours, hardness and tensile strength decreased while percent elongation increased significantly. The impact energy, namely toughness, increased in the early stage of aging, reduced sharply with increasing aging time and remained stable with a small increase in the prolonged stage of aging. The highest impact energy was attained from the aged alloy for 0.5 hours. The variation in damping energy was dependent on the changes in microstructural and mechanical properties caused by different aging periods. The prolonged aging process transformed the fracture characteristic of the as-cast alloy from relatively brittle to ductile fracture.

**Keywords:** Aging, Damping behaviour, Microstructure, Precipitation hardening, Zn–Al alloys

### Öz

Üçlü Zn–27Al–1Cu alaşımı, hammaddelerden kokil kalıba döküm yöntemiyle üretildi. Üretilen alaşım, çözündürme ve su verme işlemlerinden sonra yaşlandırmaya tabi tutuldu. Farklı periyotlarda yaşlandırmanın alaşımın mikroyapısı ve darbe davranışı üzerindeki etkisi incelendi. Mikroyapısal incelemeler, döküm halindeki alaşımın mikroyapısının alüminyumca (Al) zengin  $\alpha$  dendritleri ve onları çevreleyen ötektoid  $\beta$  fazı, çinkoca (Zn) zengin  $\eta$  fazı ve bakırca (Cu) zengin  $\epsilon$  fazından oluştuğunu ortaya çıkarmıştır. Isıl işlem döküm alaşımının dendritik mikroyapısını ortadan kaldırdı ve alaşımın mikroyapısını Zn ve Cu bakımından zengin çökeltiler içeren iri taneli ( $\beta$ -matrisli) kararlı bir forma dönüştürdü. Yaşlandırma işlemi sonrası oluşan mikroyapısal değişimler, alaşımın mekanik özelliklerini doğrudan etkilemiştir. Yaşlandırma süresinin 2,5 saate kadar artmasıyla sertlik ve çekme dayanımı artmış, ancak yüzde uzama azalmıştır. Yaşlandırma süresi 5 saate ulaştığında sertlik ve çekme dayanımı azalırken, yüzde uzama önemli ölçüde artmıştır. Darbe enerjisi, diğer bir ifade ile tokluk yaşlanmanın erken evresinde arttı, yaşlanma süresinin artmasıyla keskin bir şekilde azaldı ve uzun süreli yaşlandırma durumunda az bir artışla sabit kaldı. En yüksek darbe enerjisi 0,5 saat boyunca yaşlandırılmış alaşımdan elde edildi. Darbe enerjisindeki değişim, farklı periyotlarda yaşlandırma işleminden kaynaklanan mikroyapısal ve mekanik özelliklerdeki değişikliklere bağlıydı. Uzun süreli yaşlandırma işlemi, döküm durumundaki alaşımın kırılma karakteristiğini nispeten gevrek kırılmadan sünek kırılmaya dönüştürdü.

**Anahtar kelimeler:** Yaşlandırma, Darbe davranışı, Mikroyapı, Çökelme sertleşmesi, Zn-Al alaşım

\*a Fatih ŞENASLAN; fsenaslan@gumushane.edu.tr, Tel: (0456) 233 10 00, orcid.org/0000-0003-0498-6332

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-8998-1620

## 1. Introduction

### 1. Giriş

Zinc-aluminium (Zn–Al) alloys have been generally operated as journal bearing materials because of their excellent tribological properties load-bearing performances for many years (Prasad, 2004; Babic et al., 2010; Anjan & Kumar, 2019). Conventional Zn–Al-based alloys also have been used for various engineering applications and industrial areas such as automobile engine parts, agricultural equipment, general hardware, work tools (Aydın, 2012; Anjan & Kumar, 2019; Pola et al. 2020). Some commercially used alloys are called ZA–8, ZA–12, ZA–27 and Alzen 501. Among the zinc-aluminium family, ZA-27 alloy has the highest strength, low density and superior bearings along with good wear resistance properties (Owoyeet al., 2019). The Zn–Al-based alloys are more preferred due to their outstanding properties in most mechanical and tribological applications than ferrous and nonferrous materials. These properties can be listed as easy production, low-cost, exceptional cast-ability, marvellous surface quality, easy machinability, high damping behaviour, and superior wear resistance properties (Savaşkan et al., 2002; Zhu et al., 2006; Yang et al., 2009; Pola et al. 2020). However, some mechanical properties of these alloys are not sufficient for advanced engineering applications and new manufacturing areas, particularly in the as-cast state. This situation seriously restricts the use of these alloys in industry. To eliminate or minimize these problems and develop the mechanical properties of the Zn–Al-based alloys, various methods have been applied until now (Pürçek et al 2005; Nagavelly et al., 2017; Aydın & Şenaslan, 2018; Movahedi et al., 2019; Zhang et al., 2020; Venc1 et al. 2021). It has been found that the best influential method for improving the strength of the binary alloy is the contribution of alloying elements such as Si, Ni, and Cu. These alloying elements lead to distortion in the Zn-Al matrix due to their very hard nature and increase the hardness and strength of the alloy. The increase in the strength of the Zn-Al based alloy with the presence of these alloying elements is mainly due to solid solution hardening and the formation of new phases. Liu et al. (2021) reported that the hardness of the Zn-12Al based alloy increased with the addition of Si increasing up to 1.2 wt. % due to silicon particles being harder than the matrix, but that when the Si content exceeded 0.3 wt. %, the impact energy of the alloy was distinctly reduced due to the splitting effect of silicon particles on the matrix. Choudhury et al. (2002) reported that the improvement in hardness and wear resistance of

the Zn-Al alloy modified with Ni (up to 0.9 wt. %) was due to the presence of the Ni<sub>3</sub>Al phase formed throughout the matrix. It found that the addition of copper in the range of 1–3 wt. % improves the strength and hardness of the Zn-Al alloys while reducing the ductility, due to solid solution hardening and the formation of relatively hard intermetallic  $\epsilon$  (CuZn<sub>4</sub>) and T' (Al<sub>4</sub>Zn<sub>3</sub>Cu) phases (Jeshvaghani et al., 2016). Some researchers have designed a series of typical alloys such as Zn–15Al–1Cu (Rollez et al., 2017), Zn–21Al–2Cu (Hernández-Rivera et al., 2017), Zn–25Al–3Cu (Savaşkan & Tan, 2015), Zn–26Al–1.5Cu–0.9Ni (Choudhury et al., 2002), Zn–27Al–3Si (Mao et al., 2015), Zn–38Al–2.5Cu–0.55Si (Ting et al., 2016) and Zn–40Al–2Cu–2Si (Savaşkan et al. 2021), apart from the commercial ZA alloys. However, some researchers (Turhal & Savaşkan 2003; Krupiński et al., 2018) indicated that the high addition of alloy elements deteriorated the structural stability and mechanical properties of Zn-Al alloys, such as dimensional instability, low strength and/or ductility. Heat treatments such as homogenization, stabilization and quench-aging are some of the most effective methods of eliminating dimensional instability and/or improving mechanical properties. Homogenization can be performed to achieve chemical homogeneity and to reduce micro-segregation in as-cast alloys by diffusion of atoms (Kai et al., 2017). Stabilization is used to greatly improve the dimensional stability of as-cast alloys. Quench-aging consists of three stages in which the alloys are subjected to solution treatment followed by rapidly cooling (quenching) and aging, to obtain the desired structural, physical and mechanical properties. However, in this heat treatment, the aging time and temperature play an important role in the structural and mechanical properties of the alloy. Thus, it is very important to determine the appropriate temperature and time parameters to obtain the desired properties in the alloy. Yang et al. (2013) examined the effect of heat treatment (at different temperatures and times) on the structural and mechanical properties of the ZA–27 alloy. They found that aging at low temperatures causes precipitation of very fine phases that reduce the ductility of the alloy, and furthermore, hardness and tensile strength decrease with increasing aging time, while aging at 140°C gives the highest ductility and tensile elongation, over 25%. Movahedi et al. (2019) fabricated ZA–27 syntactic foams using the counter-gravity infiltration casting method and investigated the effect of heat treatment (T7) on ZA–27 microstructure and mechanical properties. They reported that heat-treatment improved the specific energy absorption,

plateau stress, and energy absorption due to the change of the microstructure by increasing the ductility of the alloy. Zhang et al. (2020) found that after heat treatments, which are subjected to solution treatment at different temperatures (ranging from 280 °C to 400 °C) for different times (ranging from 1h to 3h) followed by water quench, all original phases and structures dissolved completely and the newly formed ZA-22 alloy merely consisted of sub-micron granular eutectoid structure. In addition, the significantly increased interface density and the change in the  $\alpha/\eta$  interface microstructure resulted in a remarkable improvement in damping over the all temperature range. Savaskan et al. (2021) investigated the effect of different heat treatment conditions on the mechanical properties of Zn-40Al-2Cu-2Si alloy. They found that heat treatment (T6) consisting of homogenization followed by quench-aging steps, increased the hardness and tensile strength of the as-cast alloy.

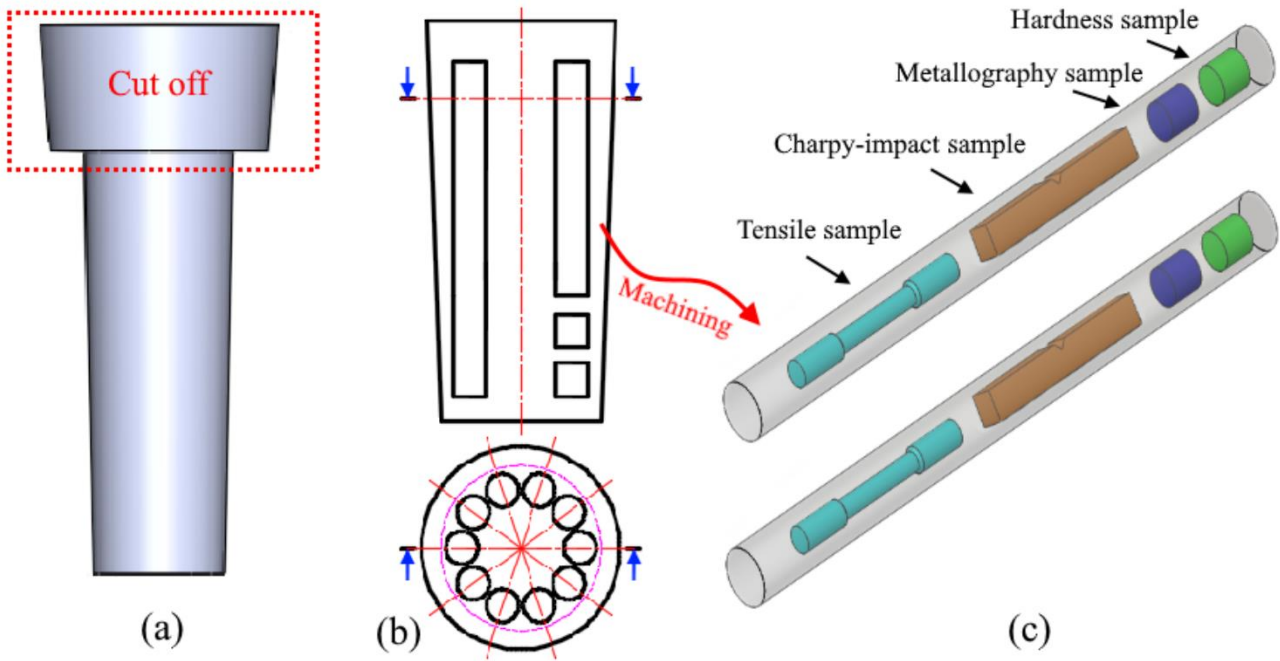
As a result, the addition of copper up to 3% increases the hardness and strength of Zn-Al-Cu alloys due to solid solution hardening, but the addition of copper exceeding 1% causes the problem of dimensional instability and low ductility due to the formation of metastable  $\epsilon$  ( $\text{CuZn}_4$ ) phase, and transformation of  $\epsilon$  phase into the stable T' ( $\text{Al}_4\text{Cu}_3\text{Zn}$ ) phase in the structure. Heat treatment is an effective method to eliminate these problems and obtain good structural and mechanical properties. Optimized structural and mechanical properties are vital in order to enhance the use of these alloys, which have many advantages compared to other non-ferrous metals. Therefore, low-copper addition was preferred to minimize dimensional stability and obtain balanced mechanical properties in this study. Moreover, the effect of heat treatment consisting of solution treatment and water quenching followed by aging at different periods on the structure and mechanical properties of Zn-27Al-1Cu alloy, especially on microstructural change and damping behaviour, was investigated.

## 2. Material and method

### 2. Materyal ve metot

Zn-27Al-1Cu alloy was produced by the gravity casting method using high-purity (99.9%) zinc, commercially pure (99.7%) aluminium, and Al-50Cu master alloys. The amount of alloying materials was calculated according to the weight ratios in the Zn-27Al-1Cu alloy system. These

alloys were melted in an electric furnace at 600 °C and then poured from 585 °C into a steel mould, which was manufactured as a conical shape with a bottom diameter of 45 mm, a top diameter of 60 mm and a length of 190 mm, after stirring for 5 min. Some of the ingots were subjected to heat treatment consisting of solutionizing, water-quenching and aging steps. The solutionizing process was carried out in an electric furnace at 380 °C for 24 hours followed by water-quenching. Quenching was done by rapid cooling with cold water. Artificial aging was performed in an air circulation oven at 100 °C for different durations ranging from 0.5 hours to 5 hours. As-cast and heat-treated ingots were mechanically processed to prepare metallography, tensile, hardness and V-notch impact samples as shown in Figure 1. Tensile specimens were prepared according to ASTM E8/M-11 standard with a gauge length of 25 mm and a diameter of 6 mm. The Charpy V-notch impact test specimens were manufactured according to ASTM E23 with dimensions of 10 mm  $\times$  10 mm  $\times$  55 mm. Hardness and metallography samples were machined with a diameter of 10 mm and a thickness of 10 mm. Tensile tests were carried out using a universal servo-hydraulic testing machine at a strain rate of  $1.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ . The elongation of the samples was recorded with the aid of a video extensometer. The hardness measurements were performed using a Brinell hardness tester with a 2.5 mm diameter ball indenter under a load of 31.25 kgf and a dwell time of 15 s. Charpy-impact tests were performed using damping test equipment with the maximum impact energy of 100 joules (J) and accuracy of  $\pm 0.5 \text{ J}$ . After the impact tests, the fracture surfaces of the impacted samples were observed with a scanning electron microscope (SEM). The as-cast and heat-treated samples of the alloy were prepared by standard metallography methods for microstructural examinations. They were then etched with 3% nital (3% nitric acid + 97% deionized water) solution to reveal their microstructures. Microstructural examinations of the samples were performed using both an optical microscope equipped with a digital camera and an SEM equipped with the energy-dispersive spectroscope, EDS. The average grain size of the heat-treated samples was calculated from their optical metallography images using an image processing software, ImageJ. To confirm the accuracy of the results, tensile, hardness and impact tests were repeated at least five times for all conditions and the average of the five measurements was taken.



**Figure 1.** (a) The ingot form after casting, (b) Schematic representation of machining (c) Test specimens  
**Şekil 1.** (a) Döküm sonrası külçe formu, (b) Talaşlı imalatın şematik gösterimi (c) Test numuneleri

### 3. Discussion and conclusions

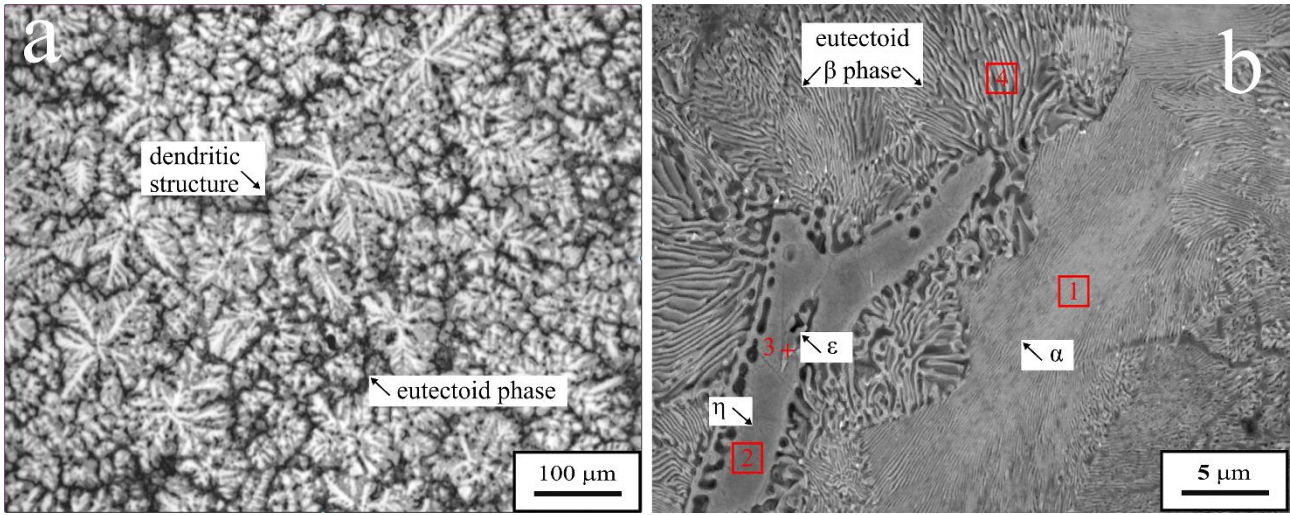
#### 3. Tartışma ve sonuçlar

#### 3.1. Microstructural studies

##### 3.1. Mikroyapısal incelemeler

Metallographic examination with an optic microscope in Figure 2(a) showed that the microstructure of as-cast alloy consisted of a typical dendritic structure consisting of micro-components, as a result of the final solidification. To determine the average composition of each phase, EDS analysis was performed from the regions marked in the SEM image of the as-cast alloy given in Figure 2(b). The average composition of  $\alpha$ ,  $\eta$ ,  $\epsilon$  and  $\beta$  phases in the as-cast alloy are listed in Table 1. The EDS results revealed that Zn-27Al-1Cu alloy consisted of aluminium-rich  $\alpha$  phase, zinc-rich  $\eta$ -phase, zinc-

rich eutectoid  $\beta$  phase and intermetallic  $\epsilon$  ( $\text{CuZn}_4$ ) phase. This dendritic and multiphase structure of the as-cast alloy was due to the thermal instabilities, typical of transient solidification, and the phase transformations during the cooling process. According to the binary phase diagram of Zn-Al alloys given in Ref. (Zhang et al., 2020), during the cooling stages of the liquid alloy with Zn-27Al composition, there are three typical phase transformation processes: crystallization of primary  $\alpha$  phase ( $L \rightarrow \alpha$ ), peritectic reaction ( $L + \alpha \rightarrow \beta$ ), and eutectoid reaction ( $\beta \rightarrow \alpha + \eta$ ). In addition, Savaşkan & Hekimoğlu (2014) was presented the phase diagram of the ternary Al-Zn-Cu alloy system at 350 °C. According to this phase diagram, the  $\beta$  phase includes  $\alpha$ ,  $\eta$  and  $\epsilon$  phases in the ternary alloy system with Zn-27Al-1Cu composition. The  $\beta$  phase transformation takes place as  $\beta \rightarrow \alpha + \eta + \epsilon$  during the solidification.



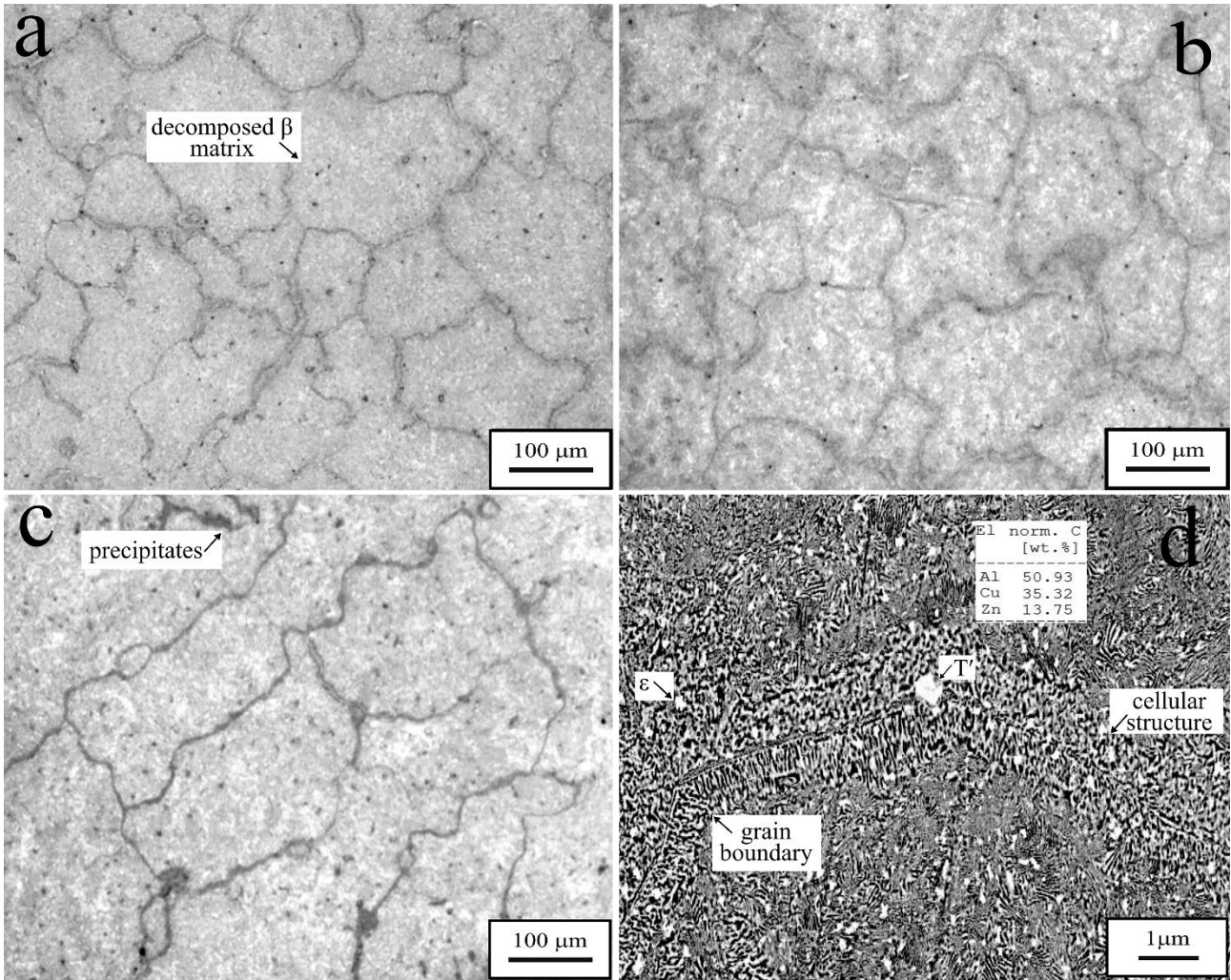
**Figure 2.** The microstructure of the as-cast alloy (a) optical microscope and (b) SEM image  
**Şekil 2.** Döküm alaşımının mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM görüntüsü

**Table 1.** EDS analyses of the points marked on the micrograph in Figure 2(b).  
**Tablo 1.** Şekil 2(b)'deki mikroyapıda işaretlenen noktaların EDS analizleri.

Position	Chemical composition with weight percent			
	Phase	Zn wt.%	Al wt.%	Cu wt.%
Point 1	$\alpha$	21.34	77.94	0.72
Point 2	$\eta$	85.06	12.56	2.38
Point 3	$\varepsilon$	85.09	1.26	13.65
Point 4	$\beta$	72.29	26.54	1.17

The microstructures of the heat-treated alloy under different aging duration observed with the optical microscope are given in Figure 3. The solution treatment followed by the quench-aging process removed the dendritic microstructure of the alloy and transformed it into a coarse-grained structure with the  $\beta$  matrix, containing precipitates within and through the grain boundaries, as seen in Figure 3(a-c). In addition, it was observed that the grain size increased with increasing aging duration and the number of precipitates located close to the grain boundaries increased. Zhao et al. (2018) indicated that the diffusion of solute atoms along the grain boundaries enhanced the grain growth in Al-Zn based alloys. The average grain size of the alloy aged for 0.5 hours, 2.5 hours and 5 hours was determined by an image processing software to be 145 $\mu\text{m}$ , 205  $\mu\text{m}$  and 245  $\mu\text{m}$ , respectively. The detailed SEM view of the grain boundary region of the alloy quench-aged for 2.5 hours, after solution treatment is given in Figure 3(d). From this figure, it is clearly seen that precipitates are formed within

the  $\beta$  matrix and along the grain boundaries. In addition, a cellular structure consisting of  $\alpha$  (dark) and  $\eta$  and  $\varepsilon$  (light) phase precipitates were formed along the grain boundaries. Moreover, EDS analysis revealed that the formation of  $T'$  phase ( $\text{Al}_4\text{Cu}_3\text{Zn}$ ), a product of four-phase transformation ( $\alpha+\varepsilon\rightarrow T'+\eta$ ), started in the structure. During the solution treatment at 380 °C for 24h, a large amount of  $\alpha$  and  $\eta$  phases dissolve, resulting in the formation of the supersaturated  $\beta$  phase. There are four phases  $\beta$ ,  $\eta$ ,  $\alpha$  and  $\varepsilon$  in the quenched alloy after solution treatment (Yang et al., 2013). After aging, especially in the early stages, the supersaturated  $\beta$  phase decomposed into the irregularly cellular structure through discontinuous reaction:  $\beta\rightarrow\alpha+\eta+\varepsilon$ . The progressive stage of aging activates the four-phase transformation ( $\alpha+\varepsilon\rightarrow T'+\eta$ ) and initiates the formation of the  $T'$  phase, where  $T'$  is the phase with higher stability than the  $\varepsilon$  phase (Chen et al., 2015; Ferreira-Palma et al., 2021).

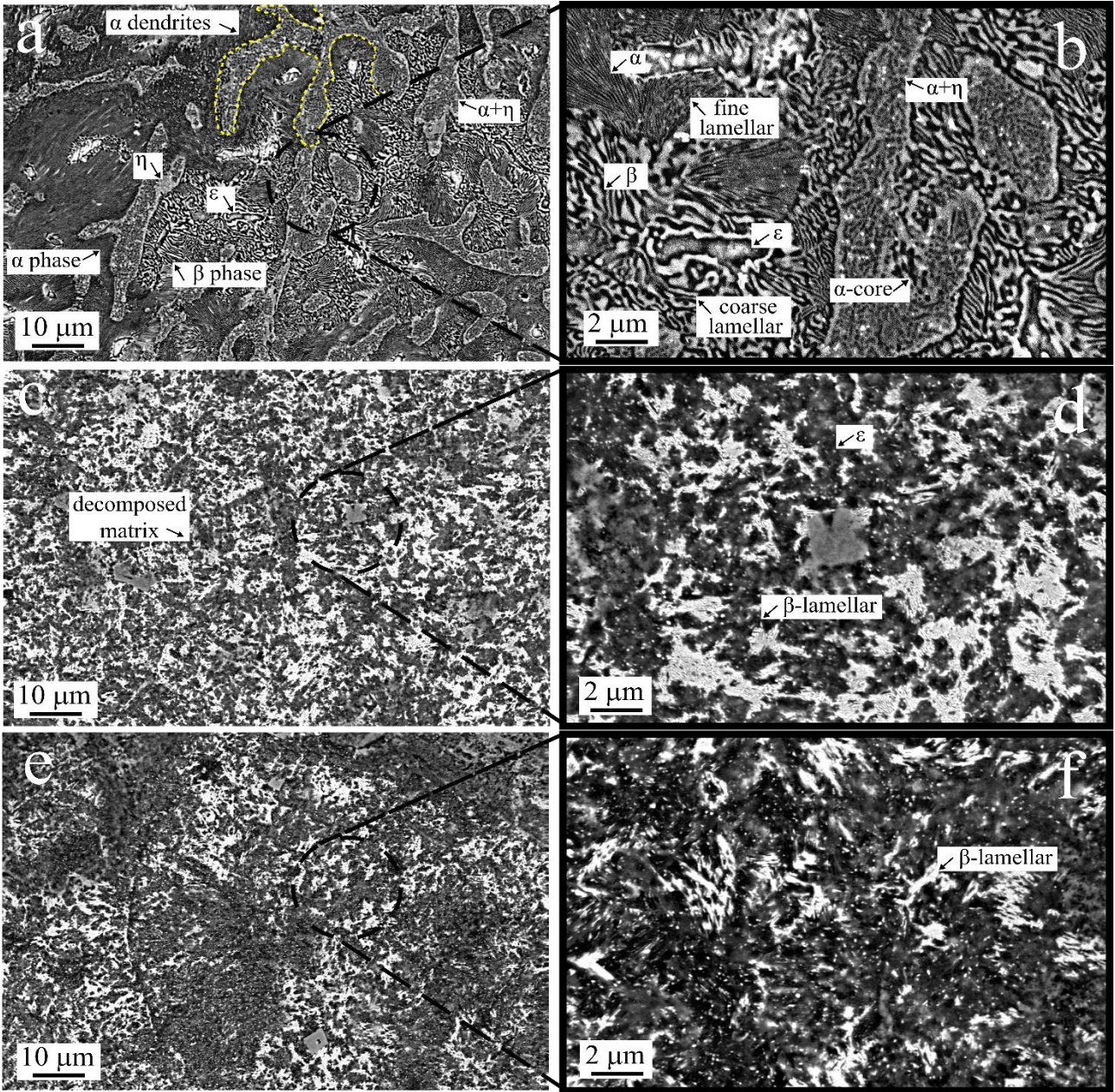


**Figure 3.** Optical microscope images of microstructure of the alloy aged for (a) 0.5 h, (b) 2.5 h, (C) 5 h and (d) SEM image of the grain boundary of the alloy aged for 2.5 h in detail.

**Şekil 3.** (a) 0,5 h, (b) 2,5 h, (C) 5 h yaşlandırılmış alaşımın mikroyapısının optik mikroskop görüntüleri ve (d) 2,5 saat yaşlandırılmış alaşımın tane sınırının ayrıntılı SEM görüntüsü

SEM analyses were performed at low and high magnifications to examine the microstructural change more comprehensively. The detailed SEM images of the microstructure of the alloy under as-cast and heat-treated conditions (aged for 2.5 h and aged for 5h) are given in Figure 4. Figure 4(a-b) shows the Al-rich  $\alpha$  dendritic arms, the Zn-rich ( $\alpha + \eta$ ) dendrites, the lamellar  $\beta$  phase, the Zn-rich  $\eta$  phase and the Cu-rich  $\epsilon$  phase, which formed in the microstructure of the alloy after solidification. During the solidification of as-cast alloy, the primary  $\alpha$  phase solidified firstly to form the cores of dendrites bordered by the eutectoid  $\beta$  phase.

Then, the lamellar  $\beta$  phase, which was formed as a result of the transformation of the  $\beta$  phase into  $\alpha$  and  $\eta$  phases by the eutectoid reaction during cooling, solidified. Finally, the  $\eta$  and  $\epsilon$  phases solidified in the inter-dendritic region. The copper-rich  $\epsilon$  phase (light-grey) is generally located within the lamellar  $\beta$  phase as seen in Figure 4(b). The fine lamellar structure represents the  $\alpha$  phase, while the coarse lamellar structure represents  $\beta$  ( $\alpha$  (dark) +  $\eta$  (light)) phase in Figure 4(b). Savaşkan & Hekimoğlu (2014) defined the  $\alpha + \eta$  (middle-grey) phase as  $\alpha$  core- $\beta$  dendrite, which is supported by the detail image of this phase in Figure 4(b).



**Figure 4.** SEM image of microstructure of the Zn-27Al-1Cu alloy (a-b) as-cast and its detail, (c-d) aged for 2.5 h and its detail, (e-f) aged for 5 h and its detail.

**Şekil 4.** Zn-27Al-1Cu alaşımının mikroyapısının (a,b) döküm hali ve detayının, (c,d) 2,5 saat yaşlandırılmış ve detayının (e-f) 5 saat yaşlandırılmış ve detayının SEM görüntüsü

The microstructure of the alloy aged for 2.5 hours and aged for 5 hours are given in Figure 4(c-d) and Figure 4(e-f), respectively. As it is clearly seen in Figure 4(c),  $\alpha$  and  $\eta$  phases almost completely dissolved in each other through the heat treatment, and the dendritic microstructure turned into the decomposed matrix. The coarse lamellar structure turned into a fine lamellar structure after aging for 2.5 h, as seen in Figure 4(b-d). Moreover, heat treatment increased the dissolution of the  $\epsilon$  phase in the matrix, resulting in a more homogeneous structure with dispersed precipitates. The microstructure formed after casting resulted from

the solidification mechanism (Turhal & Savaşkan, 2003; Jeshvaghani et al., 2016). However, the microstructural changes of the alloy after heat treatment resulted from the solution treatment and aging-activated precipitation mechanisms. The structure of the quenched alloy after solution treatment consists mainly of the supersaturated  $\alpha$  phase and supersaturated  $\beta$  phase (Movahedi et al., 2019). In the early stage of aging (aged for 0.5 h), the supersaturated  $\beta$  phase transformed into a fine lamellar structure, which was formed within the grain. As the aging time increased, the large and coarse lamellar  $\beta$  phase decomposed by the

diffusion effect and transformed into a smaller and thinner lamellar structure. In other words, when the aging time increased from 2.5 hours to 5 hours, the  $\alpha$  phase became more prominent, while the  $\beta$  phase gradually disappeared (Figures 4(d-f)). This structural change is evident from the difference between the microstructure of the alloy aged for 2.5 h and the alloy aged for 5 h given in Figure 4. The microstructure of the as-cast alloy formed as a result of solidification and the microstructural changes after heat treatment are compatible with previous studies on similar Zn–Al based alloys (Yang et al., 2013; Chen et al. 2015; Jeshvaghani et al., 2016; Movahedi et al., 2019; Ferreira-Palma et al., 2021).

### 3.2. Mechanical properties

#### 3.2 Mekanik özellikler

Some mechanical properties of the Zn–27Al–1Cu alloy in both as-cast and different aging conditions are listed in Table 2. It is seen from the table that the hardness and tensile strength increase with increasing aging time up to 2.5 hours, but the percent elongation decrease. When the aging time reached 5 hours, hardness and tensile strength decreased while percent elongation increased significantly. The highest hardness and strength with the lowest percent elongation were obtained from the alloy aged for 2.5 hours. The change in hardness, strength and ductility values can be explained by the microstructural changes and precipitation hardening mechanism that occur as a result of the solution treatment followed by quenching and aging. After 0.5 hours of aging, the alloy showed a rapid increase in hardness and tensile strength together with a slight increase in percentage elongation. Hence, Zhang et al. (2020) reported that when the alloys were subjected to

short-term annealing in the single-phase region followed by water-quenching, the elongation was generally improved without decrements in the strength of the alloys. After the solution treatment and quenching, a supersaturated solid solution is obtained, which causes a large amount of distortion in the matrix, resulting in the improvement of the hardness and strength of the alloy. The increase in the hardness and strength of the alloy aged for 0.5 hours can be explained by this mechanism. However, a supersaturated solid solution is an unstable structure that is transformed into a stable structure by prolonged periods of aging. In addition, with increasing aging time, the precipitation of secondary phase particles becomes more active. This causes distortion in the matrix ( $\beta$ ) due to the coherence effect (Wei et al., 2021; Savaşkan et al., 2021). This restricts the movement of dislocations and makes it difficult to slide, which can be attributed to the increase in hardness and strength and decrease in elongation of the alloy aged for 2.5 hours. After the 5 hour aging period, the considerable decrease in the hardness and tensile strength of the alloy can be attributed to the over-aging behaviour. During the over-aging stage, the precipitates begin to lose the effect of coherency characteristic and the precipitates rapidly coalesce, grow and coarsen, which causes the elimination of barriers that restrict the dislocation movement. In general, prolonged aging processes can cause a decrease in strength due to decreased dislocation density and increased grain size (Yang et al., 2013; Meng et al., 2021). In addition, after 5 hours of aging period, the supersaturated  $\beta$  phase decomposed to a very fine lamellar structure, which contributed greatly to the improvement of the ductility of the alloy.

**Table 2.** Mechanical properties of the Zn–27Al–1Cu alloy in as-cast and heat treated conditions

**Tablo 2.** Dökülmüş ve ısıtılmış işlem görmüş durumdaki Zn–27Al–1Cu alaşımının mekanik özellikleri

Aged Condition	Tensile Strength (MPa)	Hardness (BHN)	Percentage Elongation (%)	Impact Energy (J)
As-cast	340	92	13	5.59
0.5 hours	385	105	17	5.82
2.5 hours	405	112	9	2.87
5 hours	315	84	36	2.96

On the other hand, impact energy was raised in the early stage of aging, thereafter it reduced dramatically with increasing aging duration and finally it raised slightly in the prolonged stage of the aging process. The highest impact energy, i.e. toughness was obtained from the 0.5 hours aged

alloy with well-balanced tensile strength and percent elongation. After 2.5 hours of aging period, the impact energy of the alloy decreased distinctly, which may be due to the high hardness of the alloy and the presence of the high number of fine-hard precipitates, which increase the tendency of crack



formation. The impact energy increased slightly after aging for 5 hours but was still low compared to the as-cast condition. This may be due to the fact that the ductility of the alloy aged for 5 hours was quite high, but the tensile strength was distinctly low. The change in damping capacity can be attributed to the mechanical properties combined with structural changes due to the aging process. Another important factor affecting the mechanical properties of the alloy is grain size. As the grain size increases, the total interface boundary decreases, hence a decrease in the total energy of the material, resulting in a reduction of the damping capacity (Zhongming et al., 2000; Zhang et al., 2006; Zhang et al., 2020). The overall decrease in the impact energy of the alloy with increasing aging time after 0.5 hours may be due to

the increase in grain size, as seen in Figure 3(a-c). However, analysis of fracture surfaces can also play a key role in explaining the change in the toughness of materials. Therefore, the fracture surfaces of the impact samples were examined by SEM after the impact tests. The mechanical properties of Zn-27Al-1Cu alloy in the as-cast and heat treatment conditions were compared with the mechanical properties of similar Zn-Al based alloys produced in previous studies, given in Table 3. The Zn-27Al-1Cu alloy exhibited better ductility in general than other alloys due to its low copper content. It also had moderate hardness and tensile strength compared to Zn-Al alloys with high Al and Cu content. However, it had a much better impact energy than the Zn-15Al-3Cu alloy.

**Table 3.** The comparison table of mechanical properties of some Zn-Al based alloys in as-cast and heat treatment conditions.

**Tablo 3.** Bazı Zn-Al esaslı alaşımların döküm ve ısı işlem koşullarındaki mekanik özelliklerinin karşılaştırma tablosu.

Alloy composition (wt. %)	Process status	Hardness (BHN)	Tensile strength (MPa)	Percent elongation (%)	Impact energy (J)	References
Zn-27.5Al-1Cu	As-cast	92	340	13	5.59	Present study
	S:380 °C, 24h+ WQ A:100 °C, 2.5h	112	405	9	2.87	
Zn-27.5Al-2.5Cu-0.03Mg	As-cast	130	325	3	-	Prasad (2004)
	S: 360 °C, 12h + WQ A:180 °C, 2h	118	290	3.8	-	
Zn-25Al-3Cu	As-cast	92	350	8	-	Jovanović et al. (2007)
	S: 370 °C, 3h + WQ	105	360	24	-	
Zn-28.5Al-2.5Cu-0.012Mg	As-cast	138	318	2.4	-	Babic et al. (2010)
	S:370 °C, 3h+WQ A: RT, 34 days	121	301	5.2	-	
Zn-27Al-2Cu-0.012Mg	As-cast	155	490	3	-	Yang et al. (2013)
	S:365 °C, 1 h + WQ A:140 °C, 12 h	108	316	26.5	-	
Zn-15Al-3Cu	As-cast	83 <sub>HRF</sub>	304	3.1	2	Savaşkan & Hekimoğlu (2014)
	S:330 °C, + WQ A:180 °C, 210s	95 <sub>HRF</sub>	406	3	-	
Zn-25Al-3Cu-1Si	As-cast	67 <sub>HRB</sub>	364	2,2	-	Savaşkan et al. (2015)
	S:350 °C, 36h + WQ A:150 °C, 2min.	84.5 <sub>HRB</sub>	490	3,1	-	
Zn-40Al-2Cu	As-cast	94.3 <sub>HRF</sub>	340	1.8	-	Bican & Savaşkan (2020)
	A:150°C, 24h	86.3 <sub>HRF</sub>	291	3.1	-	
Zn-40Al-2Cu-2Si	As-cast	126	375	1.4	-	Savaşkan et al. (2021)
	S:375 °C, 36 h + WQ A:180 °C, 2 min	174	475	1	-	

S: solution treatment, WQ: water-quenching, A: aging, HRB: Rockwell B, HRF: Rockwell F

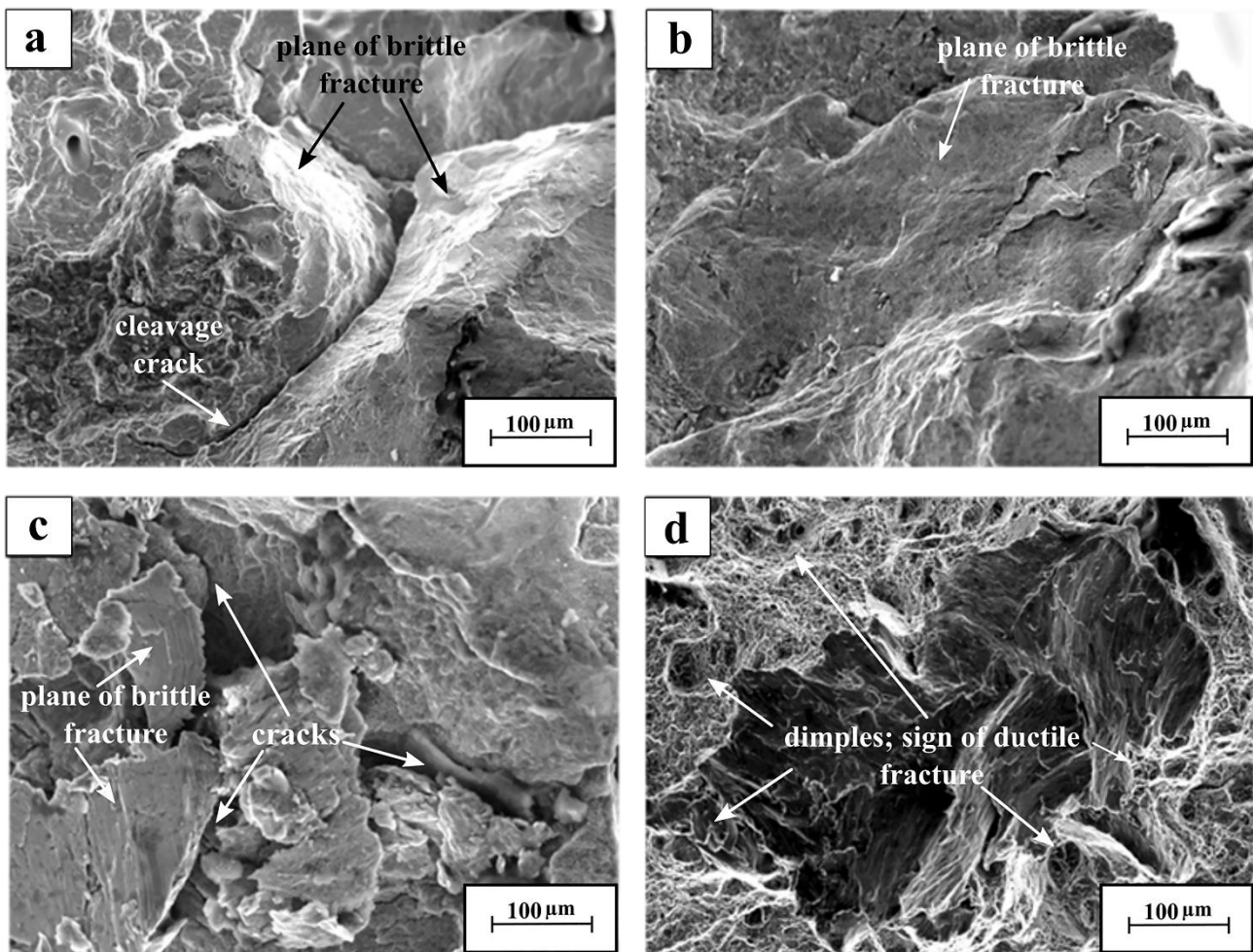
### 3.3. Fracture characteristic

#### 3.3. Kırılma karakteristiği

The fracture surface images of the impact samples obtained from both as-cast and aged alloy were given in Figure 5(a-d). The impact fracture surface

of the as-cast alloy was quite rough and exhibited brittle fracture characteristics with cleavage crack on the margin of the plane of brittle fracture, as seen in Figure 5(a). Zn–Al based alloys especially in the as-cast state exhibit brittle fracture characteristics due to the residual stresses and dimensional instability caused by the non-equilibrium cooling rates of the alloying elements (Turhal and Savaşkan, 2003; Hasan et al., 2020). Dimensional instabilities and residual stresses, which cause brittle fractures in the structure could be considerably eliminated by prolonged aging after solution treatment (Chen et al., 2008; Zhang et al., 2020; Meng et al., 2021). However, the brittle fracture tendency continued with the precipitation of secondary-phase particles in the early stages and progressive stage of aging. As a matter of fact, brittle fracture behaviour with a large cleavage plane was observed in the alloy aged for 0.5 h. In Figure 5(b), the fracture surface had a large cleavage plane but no large fracture cracks, indicating that the plastic deformation ability of the alloy aged for 0.5 h was relatively better than as-cast alloy. In fact, the alloy aged for 0.5 h exhibited

better ductility and impact energy than the as-cast alloy. It was observed that a highly brittle fracture mode occurred in the alloy aged for 2.5 hours, where maximum hardness and strength were obtained. This fracture surface consisted of largely deformed regions along with many cracks, as seen in Figure 5(c). This may be due to the local stresses created by numerous dispersed precipitates (Zn-rich and Cu-rich) in the matrix, increasing the tendency of crack formation and crack propagation (Wei et al., 2021). In the alloy aged for 5 hours, it was observed that the fracture surface consisted of numerous dimples, which is a characteristic feature of the ductile fracture behaviour, as seen in Figure 5(d). This ductile fracture mode in the alloy, which is aged for a long time, may be due to its high percent elongation. In addition, the transformation of the coarse lamellar  $\beta$  phase into the fine lamellar structure after the prolonged aging process may have greatly contributed to the improvement of the plasticity of the alloy (Yang et al., 2013; Zhang et al., 2020). As a result, brittle fracture mode transformed into ductile fracture mode after prolonged aging condition as seen in Figure 5(c-d).



**Figure 5.** SEM images showing impact fracture surfaces of the alloy in as-cast and different aging periods: (a) as-cast, (b) aged for 0.5 h, (c) aged for 2.5 h, (d) aged for 5 h

**Şekil 5.** Döküm ve farklı yaşlandırma periyotlarında, alaşımın darbeli kırılma yüzeylerini gösteren SEM görüntüleri: (a) dökülmüş, (b) 0,5 h yaşlandırılmış, (c) 2,5 h yaşlandırılmış, (d) 5 h yaşlandırılmış

#### 4. Conclusion

##### 4. Sonuçlar

The effects of different aging periods on the microstructural behaviour and impact characteristic of the Zn-27Al-1Cu alloy were examined. The results are summarized as follows. The as-cast alloy consisted of the  $\alpha$  (Al-rich) dendrites surrounded by the eutectoid  $\beta$  (Al and Zn-rich) phase, and  $\eta$  (Zn-rich) phase and metastable  $\epsilon$  (Cu-rich) phase. The solution treatment followed by the quench-aging process completely eradicated the dendritic microstructure resulting from solidification. Heat treatment provided the dendritic microstructure to transform into a highly homogeneous coarse-grained structure containing fine precipitates. The aging process directly affected the mechanical properties of the alloy. The best combination of strength and ductility properties was attained from the aged alloy for 0.5 hours. The highest impact energy was exhibited in the aged alloy for 0.5 hours, while the lowest impact energy was exhibited in the aged alloy for 2.5 hours. The variation in damping behaviour resulted from the change in microstructural and mechanical properties and, precipitation hardening mechanism due to aging treatment. The prolonged aging process transformed the brittle fracture characteristic of the cast alloy into a relatively ductile fracture characteristic.

#### Acknowledgement

##### Teşekkürler

The initial version of this article was presented in the International Online Conferences on Engineering and Natural Sciences (IOCENS'21) proceedings held on 05-07 July 2021, in Gümüşhane, TURKEY.

#### Author contribution

##### Yazar katkısı

Fatih ŞENASLAN: Methodology, conceptualization, investigation, data collection and analysis, writing—original draft, visualization. Murat AYDIN: Conceptualization, supervisor, work administration, writing—review and editing.

#### Declaration of ethical code

##### Etik beyanı

In this study, we undertake that all the rules that must be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and

Publication Ethics Directive" have been complied with, and that none of the actions specified under the title of "Actions Contrary to Scientific Research and Publication Ethics" have been carried out.

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

#### Conflicts of interest

##### Çıkar çatışması beyanı

The authors declare that there is no conflict of interest.

#### References

##### Kaynaklar

- Anjan, B. N., & Kumar, G. P. (2019). Wear behaviour of ZA27-based composite reinforced with 5 wt% of SiC particles and processed by multi-directional forging. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 72(6), 1621-1625. <https://doi.org/10.1007/s12666-019-01705-0>
- Aydın, M. (2012). High-cycle fatigue behavior of severe plastically deformed binary Zn-60Al alloy by equal-channel angular extrusion. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(8), 1780-1789. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2012.03.027>
- Aydın, M., & Şenaslan, F. (2018). The effect of quench-aging on the mechanical properties of Zn-27Al-1Cu alloy. *International Journal of Materials Research*, 109(8), 699-707. <https://doi.org/10.3139/146.111665>
- Babic, M., Mitrovic, S., & Jeremic, B. (2010). The influence of heat treatment on the sliding wear behavior of a ZA-27 alloy. *Tribology international*, 43(1-2), 16-21. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2009.04.016>
- Bican, O., & Savaşkan, T. (2020). Influence of T5 heat treatment on the microstructure and lubricated wear behavior of ternary ZnAl40Cu2 and quaternary ZnAl40Cu2Si2. 5 alloys. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 51(3), 383-390. <https://doi.org/10.1002/mawe.201800222>
- Chen, T. J., Yuan, C. R., Fu, M. F., Ma, Y., Li, Y. D., & Hao, Y. (2008). In situ silicon particle reinforced ZA27 composites: Part 1—Microstructures and tensile properties. *Materials Science and Technology*, 24(11), 1321-1332. <https://doi.org/10.1179/174328408X295971>

- Chen, T. J., Zhao, H. J., Ma, Y., & Hao, Y. (2015). Microstructure Observation of Naturally Aged Thixoforming ZA27 Alloy. *Materials Research*, 18, 1322-1330. <https://doi.org/10.1590/1516-1439.050015>
- Choudhury, P., Das, S., & Datta, B. K. (2002). Effect of Ni on the wear behavior of a zinc-aluminum alloy. *Journal of Materials Science*, 37(10), 2103-2107. <https://doi.org/10.1023/A:1015297904125>
- Ferreira-Palma, C., Dorantes-Rosales, H. J., López-Hirata, V. M., & Torres-Castillo, A. A. (2021). Effect of Ag additions on the microstructure and phase transformations of Zn-22Al-2Cu (wt.%) alloy. *International Journal of Materials Research*, 112(2), 108-117. <https://doi.org/10.1515/ijmr-2020-8009>
- Hasan, M. M., Sharif, A., & Gafur, M. A. (2020). Characteristics of eutectic and near-eutectic Zn-Al alloys as high-temperature lead-free solders. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(2), 1691-1702. <https://doi.org/10.1007/s10854-019-02687-x>
- Hernández-Rivera, J. L., Flores, E. E. M., Contreras, E. R., Rocha, J. G., de Jesus Cruz-Rivera, J., & Torres-Villaseñor, G. (2017). Evaluation of hardening and softening behaviors in Zn-21Al-2Cu alloy processed by equal channel angular pressing. *Journal of Materials Research and Technology*, 6(4), 329-333. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2017.06.006>
- Jeshvaghani, R. A., Ghahvechian, H., Pirnajmeddin, H. & Shahverdi, H. R. (2016). Influence of heat treatment on the microstructure and wear behavior of end-chill cast Zn-27Al alloys with different copper content. *Applied Physics A*, 122(4), 397. <https://doi.org/10.1007/s00339-016-9820-5>
- Jovanović, M. T., Bobić, I., Djurić, B., Grahovac, N., & Ilić, N. (2007). Microstructural and sliding wear behaviour of a heat-treated zinc-based alloy. *Tribology Letters*, 25(3), 173-184. <https://doi.org/10.1007/s11249-006-9106-8>
- Kai, W., Baiqing, X., Yongan, Z., Guojun, W., Xiwu, L., Zhihui, L., & Hongwei, L. (2017). Microstructure evolution of a high zinc containing Al-Zn-Mg-Cu alloy during homogenization. *Rare Metal Materials and Engineering*, 46(4), 928-934. [https://doi.org/10.1016/S1875-5372\(17\)30124-8](https://doi.org/10.1016/S1875-5372(17)30124-8)
- Krupiński, M., Krol, M., Krupińska, B., Mazur, K., & Labisz, K. (2018). Influence of Sr addition on microstructure of the hypereutectic Zn-Al-Cu alloy. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 133(1), 255-260. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7397-2>
- Liu, S., Tu, H., Wu, C., Wang, J., & Su, X. (2021). Effect of Silicon and Titanium on the Microstructure and Mechanical Properties of ZA12 Alloy. *Materials Today Communications*, 102564. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102564>
- Mao, F., Chen, F., Yan, G., Wang, T. & Cao, Z. (2015). Effect of strontium addition on silicon phase and mechanical properties of Zn-27Al-3Si alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 622, 871-879. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.11.013>
- Meng, X., Zhang, D., Zhang, W., Qiu, C., Liang, G., & Chen, J. (2021). Influence of solution treatment on microstructures and mechanical properties of a naturally-aged Al-27Zn-1.5 Mg-1.2 Cu-0.08 Zr aluminum alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 802, 140623. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140623>
- Movahedi, N., Murch, G. E., Belova, I. V., & Fiedler, T. (2019). Effect of heat treatment on the compressive behavior of zinc alloy ZA27 syntactic foam. *Materials*, 12(5), 792. <https://doi.org/10.3390/ma12050792>
- Nagavelly, S., Velagapudi, V., & Narasaiah, N. (2017). Mechanical properties and dry sliding wear behaviour of molybdenum disulphide reinforced zinc-aluminium alloy composites. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 70(8), 2155-2163. <https://doi.org/10.1007/s12666-017-1037-6>
- Owoeye, S. S., Folorunso, D. O., Oji, B., & Borisade, S. G. (2019). Zinc-aluminum (Zn-27)-based metal matrix composites: a review article of synthesis, reinforcement, microstructural, mechanical, and corrosion characteristics. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100(1-4), 373-380. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2760-9>
- Pola, A., Tocci, M., & Goodwin, F. E. (2020). Review of microstructures and properties of zinc alloys. *Metals*, 10(2), 253. <https://doi.org/10.3390/met10020253>
- Prasad, B. K. (2004). Influence of heat treatment parameters on the lubricated sliding wear behaviour of a zinc-based alloy. *Wear*, 257(11), 1137-1144. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2004.07.006>
- Pürçek, G. (2005). Improvement of mechanical properties for Zn-Al alloys using equal-channel angular pressing. *Journal of Materials Processing Technology*, 169(2), 242-248. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.03.012>

- Rollez, D., Pola, A., Montesano, L., Brisotto, M., De Felicis, D., & Gelfi, M. (2017). Effect of aging on microstructure and mechanical properties of ZnAl15Cu1 alloy for wrought applications. *International Journal of Materials Research*, 108(6), 447-454. <https://doi.org/10.3139/146.111502>
- Savaskan, T., Aydın, M., & Odabaşoğlu, H. A. (2001). Fatigue behaviour of Zn-Al casting alloys. *Materials Science and Technology*, 17(6), 681. <https://doi.org/10.1179/026708301101510393>
- Savaşkan, T., & Hekimoğlu, A. P. (2014). Microstructure and mechanical properties of Zn-15Al-based ternary and quaternary alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 603, 52-57. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.02.047>
- Savaşkan, T., Pürçek, G., & Murphy, S. (2002). Sliding wear of cast zinc-based alloy bearings under static and dynamic loading conditions. *Wear*, 252(9-10), 693-703. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(01\)00876-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(01)00876-6)
- Ting, L. I. U., Si, N. C., Liu, G. L., Zhang, R., & Qi, C. Y. (2016). Effects of Si addition on microstructure, mechanical and thermal fatigue properties of Zn-38Al-2.5 Cu alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(7), 1775-1782. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(16\)64290-5](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(16)64290-5)
- Turhal, M. Ş. & Savaşkan, T. (2003). Relationships between secondary dendrite arm spacing and mechanical properties of Zn-40Al-Cu alloys. *Journal of Materials Science*, 38(12), 2639-2646. <https://doi.org/10.1023/A:1024434602540>
- Vencl, A., Šljivić, V., Pokusová, M., Kandeve, M., Sun, H., Zadorozhnaya, E., & Bobić, I. (2021). Production, Microstructure and Tribological Properties of Zn-Al/Ti Metal-Metal Composites Reinforced with Alumina Nanoparticles. *International Journal of Metalcasting*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s40962-020-00565-5>
- Wei, S. L., Feng, Y., Zhang, H., Xu, C. T., & Wu, Y. (2021). Influence of aging on microstructure, mechanical properties and stress corrosion cracking of 7136 aluminum alloy. *Journal of Central South University*, 28(9), 2687-2700. <https://doi.org/10.1007/s11771-021-4802-y>
- Yang, C. F., Pan, J. H., & Lee, T. H. (2009). Work-softening and anneal-hardening behaviors in fine-grained Zn-Al alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 468(1-2), 230-236. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2008.01.067>
- Yang, L. I. U., Li, H. Y., Jiang, H. F., & Lu, X. C. (2013). Effects of heat treatment on microstructure and mechanical properties of ZA27 alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(3), 642-649. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(13\)62511-X](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(13)62511-X)
- Zhang, J., Wang, Q., Jiao, Z., Cui, C., Yin, F., & Yao, C. (2020). Effects of combined use of inoculation and modification heat treatment on microstructure, damping and mechanical properties of Zn-Al eutectoid alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 790, 139740. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139740>
- Zhang, Y., Yang, L., Zeng, X., Zheng, B., & Song, Z. (2013). The mechanism of anneal-hardening phenomenon in extruded Zn-Al alloys. *Materials & Design*, 50, 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.02.069>
- Zhao, H., De Geuser, F., da Silva, A. K., Szczepaniak, A., Gault, B., Ponge, D., & Raabe, D. (2018). Segregation assisted grain boundary precipitation in a model Al-Zn-Mg-Cu alloy. *Acta Materialia*, 156, 318-329. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2018.07.003>
- Zhongming, Z., Jincheng, W., Gencang, Y., & Yaohe, Z. (2000). Microstructural evolution of the supersaturated ZA27 alloy and its damping capacities. *Journal of Materials Science*, 35(13), 3383-3388. <https://doi.org/10.1023/A:1004885002887>
- Zhu, Y. H., To, S., Liu, X. M., & Lee, W. B. (2006). Microstructural changes inside the lamellar structures of alloy ZA27. *Materials Characterization*, 57(4-5), 326-332. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2006.02.009>

## CRITIC tabanlı PROMETHEE yöntemiyle akademik başarı sıralama uygulaması

*An application of CRITIC-based PROMETHEE method in academic success ranking*

Sinem MUTLU\*<sup>1,a</sup>, Gültekin ÇAĞIL<sup>1,b</sup>, Ahmet AYAR<sup>1,c</sup>

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 54050, Sakarya

• Geliş tarihi / Received: 30.07.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 10.02.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 10.03.2022

### Öz

Yıldan yıla artan üniversite sayısı, nitelikli üniversitelerin ayırt edilmesinde zorluğa yol açmakta ve eğitimin kalitesi konusunda tartışmalara sebep olmaktadır. Geçmişe kıyasla çok daha fazla üniversite mezununun bulunması, mezunların mezun oldukları üniversitenin başarısı ile değerlendirilmesine de neden olabilmektedir. Bu sebeple üniversite tercihlerinde akademik performansın göz önünde bulundurularak bilinçli tercih edilmesi gerekli bir husustur. Bu çalışmada, Marmara Bölgesi'ndeki Endüstri Mühendisliği eğitimi veren devlet üniversitelerinin akademik performansları gerek öğrencilere fikir sağlaması gerekse aslında çok da dikkat etmediğimiz özellikleriyle üniversitelerin birbirlerinden ne derece üstün olduğunu gözlemlemek amacıyla sıralanmıştır. Toplamda sekiz kriter göz önünde bulundurulmuş, kriter ağırlıkları CRITIC ağırlıklandırma metodu ile belirlenmiştir. Buradan elde edilen ağırlıklar ve çalışmada saptanan veriler kullanılarak on alternatif üniversite 2019 yılı verileri ile PROMETHEE yöntemi yardımıyla hem kısmi olarak hem de tam olarak sıralanmıştır. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak sonrasında yapılabilecek çalışmalara tavsiyelerde bulunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** CRITIC yöntemi, Endüstri mühendisliği sıralama, PROMETHEE yöntemi, Üniversite sıralama

### Abstract

The rapidly increasing university number causes difficulty in distinguishing a qualified university and it starts debates over the quality of the education. The fact that there are so many more graduates from the university when it is compared to the past, can be followed by evaluating a graduate according to her/his university's quality. Thus, it is necessary to be aware of the academic performance while choosing a university to study. In this article, it is aimed to investigate and rank the state universities, in Marmara Region, which provide a training for industrial engineering; in terms of universities' academic performances and in terms of providing ideas and in terms of some other points that we don't pay attention. Eight different criteria are taken into consideration and the criteria weightiness has been determined by CRITIC Weighting Method. By using the weightiness acquired and the data collected from this study, ten alternative universities are ranked both fully and partly by data from 2019 and PROMETHEE method. Results from this study are interpreted and following researches are advised.

**Keywords:** CRITIC method, Ranking industrial engineering, PROMETHEE method, Ranking universities

\*a Sinem MUTLU; sinem.mutlu@ogr.sakarya.edu.tr, Tel: (0506) 053 12 81, orcid.org/0000-0002-8189-0775

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0001-8609-6178

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0003-3498-6026

## 1. Giriş

### 1. Introduction

İnsanlık tarihinin en eski parçalarından birisi mühendisliktir. Uygarlığın gelişimi ile çeşitli dallara ayrılan mühendisliğin temelinde; tasarım, değerlendirme, geliştirme, yenileme, denetleme, bakım ve yapım vardır. Diğer bir tanımla mühendislik; bilim, matematik ve teknik ile problemlerin çözüldüğü bir bakış açıdır. Başlıca mühendislik dalları Makine, Metalürji ve Malzeme, İnşaat, Elektrik ve Elektronik, Çevre, Gıda, Kimya ve Endüstri Mühendisliğidir. Yazımızda kıyaslamasını yaptığımız dal olan Endüstri Mühendisliği'nin temelinde planlama, örgütlenme ve yönlendirme gibi uğraşlar yer alır. Bu uğraşlar da 19. yy'da bilimdeki ve teknolojiadaki gelişmeler sayesinde Endüstri 1.0 olarak adlandırılan buharın gücünden faydalanılması sonucunda gerçekleşen Sanayi Devrimi ile daha fazla değer kazanmıştır. Artan talep, üretimi artırdığı gibi artan üretim de doğru planlamayı gerektirdiği ve personel, makine, malzeme ve nakit akışından oluşan ve yönetilmesi daha da zorlaşan sistemler için Endüstri Mühendisliği dalına gereksinim duyulmuştur. Birbiriyle bağlantılı ve bir ürünün üretim veya bir hizmetin yapım aşamasında var olan bütün nesnelere koordineli çalışmasının kısıtlı kaynaklarla organize edilmesi, sistemi iyileştirip geliştirilmesi ve tüm bu işlemlerin olabildiğince sorunsuz şekilde yürütülmesi Endüstri Mühendislerini ilgilendirmektedir. İmalat sanayi, hizmet sektörü, ekonomik planlama, savunma sanayi, kamu yönetimi gibi pek çok alanı içeren geniş bir ilgi alanı vardır (Emel, 2006).

Henüz Endüstri 3.0'a geçiş seviyesinde olduğu düşünülen Türkiye Cumhuriyeti'nde de Endüstri Mühendisliği büyük öneme sahiptir. Bundan dolayı devlet veya vakıf fark etmeksizin çoğu üniversite Endüstri Mühendisliği eğitimi vermektedir. Literatüre bakıldığında da bölüm veya üniversite sıralaması içeren çalışmaların az miktarda olması göze çarpmaktadır. Bu çalışmada ise Marmara Bölgesi'ndeki Endüstri Mühendisliği eğitimi veren devlet üniversiteleri sıralanmıştır. Performanslarını belirlemede kriterlere ait önem düzeylerinin belirleyen ağırlıkların tespitinde CRITIC yöntemi kullanılmıştır. Belirlediğimiz alternatiflerin performanslarını belirlemek için hem kısmi hem de tam sıralama yapabilmesi ve dolayısıyla geniş kapsamlı analize izin vermesi nedeniyle PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada önce literatür araştırması özeti sunulacaktır.

## 1.1. Literatür taraması

### 1.1 Literature review

Literatür incelemesinde ilk olarak öğretim kurumları üzerine yapılan performans değerlendirmesi içeren çalışmalar özetlenecektir. Devamında üniversiteleri değerlendirirken kullanılan CRITIC ağırlıklandırma ve performans sıralaması için kullanılan PROMETHEE yöntemlerini içeren çalışmalardan bahsedilecektir.

### 1.1.1 Öğretim kurumları üzerinde yapılan performans değerlendirmesi içeren çalışmalar

#### 1.1.1 Studies involving performance evaluation on educational institutions

Özden (2008) çalışmasında Türkiye'de faaliyet gösteren vakıf üniversitelerinin etkinliklerini veri zarflama analizi kullanarak ölçmüştür. Çalışmasında girdi değerleri olarak "Toplam Giderler", "Diğer Akademik Personel Sayısı", "Öğretim Üyesi Sayısı"; çıktı değerleri olarak da "Eğitim-Öğretim Gelirleri", "Yayın Sayısı", "Önlisans ve Lisans Öğrenci Sayısı", "Lisansüstü Öğrenci Sayısı", "Diğer Gelirler" değişkenlerini kullanmıştır. Çalışmanın sonunda süper etkinlik modelleri aracılığıyla üniversiteleri etkinliklerine göre sıralamıştır.

Bal (2013), Türkiye'de bulunan 23 vakıf üniversitesinin etkinliklerini ölçmek üzere bir çalışma yapmıştır. Çalışmada değişken olarak 4 girdi 4 çıktı kullanılmıştır. Analiz sonucunda etkin olmayan karar verme birimlerinin etkin olabilmeleri için kaynaklarını ne miktarda değiştirmeleri gerektiği tespit edilmiştir.

Özel (2014), çalışmasında Veri Zarflama Analizi'nden yararlanarak Türkiye'de bulunan devlet üniversitelerinin etkinlik değerlerini saptamış ve süper-etkinlik modeli ile de üniversitelerin sıralamalarını yapmıştır. Çalışmasında 52 devlet üniversitesinin 2009-2010 yılına ait verilerine yer vermiş ve beş adet ile dört adet çıktı değişkeniyle analiz yapmıştır.

Murat, vd. (2015) çalışmalarında belirlenen yedi okulu ve dört performans ölçütünü ele alıp PROMETHEE çok kriterli karar verme metodunu kullanarak okulların performans kalitesini değerlendirmişlerdir.

Arık ve Seyhan (2016) çalışmalarında Dünya Üniversite Sıralamaları'ndan elde ettikleri verileri kullanarak TOP 500'de yer alan Türk üniversitelerinin etkinliklerini ölçmek istemişlerdir. Girdi değişkenleri olarak

üniversitedeki akademik birim sayısı ve akademik personel sayısı, çıktı değişkenleri olarak lisans öğrenimi gören öğrenci sayısı, yayın sayısı ve lisansüstü öğrenci sayısı kullanılmış ve veri zarflama analizi uygulanmıştır.

**Aladağ vd. (2018)**, çalışmasında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bünyesinde bulunan 9 bölümün etkinliklerini ölçmek amacıyla veri zarflama analizi kullanılmıştır. Analizde 4 adet girdi ve 3 adet çıktı değişkeni yer almıştır. Yapılan analiz sonucunda çıktıya yönelik CCR modelinde 5 bölümün görece toplan etkin, 4 bölümün ise görece toplam etkin olmadığı sonucu elde edilmiştir. BCC modeli içinde aynı sonuçlar elde edilmiştir.

**Arslan (2018)**, çalışmasında 2013 yılına ait verileri kullanarak 100 devlet üniversitesi etkinlikleri açısından değerlendirmiştir. Analizinde değişken olarak beş girdi ve iki çıktı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçta girdiye yönelik CCR'a göre 9 adet, girdi yönelimli BCC'ye göre ise 27 adet üniversite etkin bulunmuştur.

**Doğan ve Uçak (2018)** üniversite tercihi probleminde Analitik Hiyerarşi Prosesi'nin kullanımına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaları için alternatifler olarak dört vakif üniversitesi ve kriterler olarak üniversite tercihini etkileyeceğini düşündükleri "Aile ve Çevreye Yakınlık", "Taban Puan", "Öğrenim Ücreti", "Burs", "Akademik Kadro", "Kültürel Etkinlikler" ile "Fiziki Yapı ve Yerleşke" olmak üzere yedi değişken ele almışlardır.

**Agustina vd. (2019)** karar verme yöntemlerinden yararlanarak meslek lisesi seçimi için bir sıralama çalışması yapmışlardır. Konum, tesisler, başarı sayısı, okulun çevresi ve ders dışı etkinlikler olmak üzere beş kriter ve dört alternatif okul belirlemiş bunlar üzerinde PROMETHEE yöntemini uygulayarak meslek liselerini sıralamışlardır.

**Aliyev vd. (2020)** çalışmalarında seçilen beş üniversiteyi sıralamak amacıyla bulanık analitik hiyerarşi prosesi yönteminden yararlanmışlardır. Bu çalışmada, üniversite sıralama problemi için beş alternatif ve eğitim, araştırma, alıntılar ve uluslararası görünüm olmak üzere dört kriter kullanılmıştır.

Yukarıda bahsi geçen çeşitli çalışmalardan da anlaşılabilceği üzere birbirinden farklı çeşitli kriterleri olan karar verme metodlarından veya PROMETHEE metodundan faydalanılarak lise/bölüm/üniversite seçimi gibi eğitim sektörüne ait karar problemleriyle ilgili nadiren çalışmalar yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada eğitim sektöründe yer alan bir karar problemi ele alınmış, Marmara Bölgesi'nde bulunan ve Endüstri Mühendisliği eğitimi veren devlet üniversitelerinin CRITIC tabanlı PROMETHEE metodu ile sıralanması amaçlanmıştır. Bu veya benzeri konularda gerçekleştirilen ve PROMETHEE yönteminden faydalanılan çalışma sayısı fazlasıyla az olmakla birlikte, literatürde bu çalışmaları CRITIC ağırlıklandırma yöntemini kullanarak ele alan çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yönünden dolayı, çalışmanın literatüre katkı sağlayabilecek yeterlilikte olduğu düşünülmektedir.

### 1.1.2 CRITIC ve PROMETHEE metodlarının kullanıldığı çalışmalar

#### 1.1.2 Studies using CRITIC and PROMETHEE methods

**Tablo 1.** CRITIC metodunun kullanıldığı çalışmalar.

**Table 1.** Studies using the CRITIC method

Yazar(lar)	Yıl	Uygulama Alanı
Çakır ve Perçin	2013	Lojistik Sektöründe Performans Ölçümü
Kazan ve Özdemir	2014	Holdinglelerin Finansal Performansının belirlenmesi Bir İmalat İşletmesinde Yaygın Kullanılan
Madić ve Radovanović	2015	İşlemlerin Sıralanması
Kılıç ve Çerçioğlu	2016	Proje Değerlendirmesi
Ünlü vd.	2017	Firmalar Üzerine Bir Uygulama
Ghorabae vd.	2017	Tedarikçi Değerlendirmesi
Orakçı ve Özdemir	2017	İnsani Gelişmişlik Düzeylerinin Belirlenmesi
Mamak vd.	2018	Risk Düzeylerinin Değerlendirilmesi
Demircioğlu & Coşkun	2018	Seçim Üzerine Bir Uygulama
Can ve Kargı	2019	Risk Seviyelerinin Değerlendirilmesi
İşık	2019	Finansal Performans Değerlendirilmesi
Akbulut	2019	İş Bankasının 2009-2018 Yılları Arasındaki Performansının Analizi



**Tablo 1.** devamı  
**Table 1.** continuing

Yalçın ve Karakaş	2019	Kurumsal Sürdürülebilirlik Performans Analizi
Apan ve Öztel	2020	Finansal Performans Değerlendirmesi
Jati vd.	2020	Üniversite E-Öğrenme Web Sitelerinin Görünürlük Sıralaması
Wang vd.	2021	Hastane İnşaat Yer Seçimi

**Tablo 2.** PROMETHEE metodunun kullanıldığı çalışmalar  
**Table 2.** Studies using the PROMETHEE method

Yazar(lar)	Yıl	Uygulama Alanı
Albadvi vd.	2007	Hisse Senedi Ticaretinde PROMETHEE ile Karar Verme Uygulaması
Aygün	2011	Yatırım Projesi Değerlendirme
Vetschera ve Almeida	2012	Portföy Seçim Problemlerine PROMETHEE Tabanlı bir Yaklaşım
Akkaya ve Şahin	2013	PROMETHEE ile Portföy Oluşturma
Genç ve Urfaloğlu	2013	AB Ülkeleri ve Türkiye'nin Ekonomik Performansının Kıyaslanması
Hekimoğlu ve Şenkayas	2013	Bir Firma için Tedarikçi Seçimi
Coşkun	2015	ÇKKV Yöntemleri ile Eğitim Kurumlarının Kurumsal Performanslarının Ölçümü
Bağcı ve Esmer	2016	Faktoring Şirketi Seçimi
Çalışkan ve Eren	2016	Bankaların Performanslarının Değerlendirilmesi
Rençber	2018	İleri Bilgi ve İletişim Teknolojilerindeki Gelişmişliklerine Göre Sıralama
Şahin	2018	Bireysel Emeklilik Şirketlerinin Performans Değerlendirmesi
Baharat	2019	Bir Otomobil Markasının Hizmet Kalitesi ve Müşteri Memnuniyetinin Değerlendirilmesi
Çavdar ve Özçalık	2019	BİST'te İşletmelerin Performans Değerlendirmesi
Eren vd.	2019	Yükseköğretimde Araştırmacı Seçimi
Özdemir	2019	Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Sıralanması
Ishizaka vd.	2020	Üniversitelerde Bilgi Transferi Faaliyetlerinin İncelenmesi
Küçüköğlu	2020	Nükleer Santral Kuruluş Yeri Seçimi
Agraval	2021	PROMETHEE II ile Tedarikçi Seçimi

## 1.2 Araştırma verisi ve kriterleri

### 1.2 Research data and criteria

Çalışmada Marmara Bölgesi'nde Endüstri Mühendisliği eğitimi veren devlet üniversitelerinin çeşitli kriterler doğrultusunda sıralanmaya çalışılmış, CRITIC tabanlı PROMETHEE yönteminden yararlanılmıştır.

Kullanılacak kriterlere karar vermek için üniversite, lise ya da fakülteler bazında uygulanmış etkinlik, performans ölçümü yapan çalışmalar incelenmiştir. Abbott ve Doucouliagos (2003) çalışmalarında 36 üniversitenin etkinliğini incelemiş; kriter olarak duran varlıklar, yayın araştırma hibe miktarı, giderler, öğrenci sayısı, akademik olmayan personel sayısı, akademik personel sayısı, lisans ve yüksek lisans mezun

öğrenci sayısını kullanmışlardır. Ulucan (2011) çalışmasında öğrenci sayısı/öğretim üyesi sayısı oranı, akademik yayın sayısı toplamı, akademik öğretim üyesi ve akademik personel sayısı kriterlerini kullanmıştır. Bunlar ve benzeri birçok çalışma irdelenerek çalışmada kullanılması uygun olabilecek sekiz adet kriter belirlenmiştir.

Literatür incelendiğinde benzer nitelikte sayılabilecek çalışmalarda akademik personel sayısı, akademik olmayan personel sayısı, lisans öğrenci sayısı, yüksek lisans öğrenci sayısı, araştırma hibe miktarı, mezun öğrenci sayısı, giderler, duran varlıklar, proje sayısı, kütüphane, laboratuvar ve sınıf sayısı, eğitim envanteri toplam değeri ve faaliyet giderleri gibi kapsamlı bir kriter yelpazesi olduğu görülmektedir. Çalışmalar değerlendirildiğinde, kriter seçimi için özel bir

yöntem ya da neden olmadığı görülmüştür. Bu çalışmada da yazarların hemfikir olduğu ve veri toplama aşamasında kolayca erişilebilir olan maddeler kriter olarak seçilmiştir.

Bahsedilen niteliklere sahip Marmara Bölgesi'nde yer alan devlet üniversitesi sayısının yapılan taramalar sonucu on altı olduğu görülmüştür. Belirlenen on altı alternatifi değerlendirmek üzere

“Akademisyen Sayısı”, “Mezun Olan Öğrenci Sayısı”, “Yerleşen Son Kişinin Yüzdeleri Dilimi”, “Lisans Öğrenci Sayısı”, “Laboratuvar Sayısı”, “Doktora Öğrenci Sayısı”, “Proje ve Yayın Sayısı” ve “Yüksek Lisans Öğrenci Sayısı” olmak üzere sekiz adet kriter kullanılmıştır.

Çalışmanın bu kısmından sonra kriterler kısaltmalar şeklinde gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Çalışmada kullanılan kısaltmalar.

**Table 3.** Abbreviations used in the study

Kısaltma	Açıklaması
AS	Akademisyen sayısını göstermekte olup 2019 yılına ait, üniversitelerde bulunan Prof. Dr., Doç. Dr. ve Dr. Öğretim üyelerinin sayısını temsil etmektedir.
ÖS	Öğrenci sayısının kısaltması olup, 2019'da bölüme yerleşen lisans öğrenci sayısını ifade etmektedir.
MOÖS	2019'da lisans programından mezun olan öğrenci sayısıdır.
YD	Bölüme yerleşen son lisans öğrencisinin üniversite sınavı sonuçlarına göre girdiği yüzdeleri dilimi ifade etmektedir.
LS	Üniversitelerde Endüstri Mühendisliği öğrencilerinin kullanımına açık laboratuvar sayısını göstermektedir.
PYS	Proje ve yayın sayısının kısaltması olup, 2019'da yayımlanan tüm yayınların, projelerin, bildirilerin sayısını ifade etmektedir.
YLÖS	Yüksek Lisans Öğrenci Sayısı, üniversitelerin 2019 faaliyet raporlarında yer alan ve yüksek lisans eğitimine 2019 yılı içinde devam etmekte olan öğrenci sayısını göstermektedir.

Verilerin bazıları yokatlas.yok.gov.tr internet sitesinden, bazıları üniversitelerin 2019 idare faaliyet raporlarından bazıları üniversitelerin resmi internet sitelerinden, bazıları da bölüm başkanları ya da sekreterleri aracılığıyla temin edilmiştir. Kriterler arasında yer alan “Mezun Sayısı” için henüz mezun vermemeleri sebebiyle veri sağlanamayan Bursa Teknik Üniversitesi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi ve Gebze Teknik Üniversitesi listeden çıkarılmıştır. Bazı verilerine,

adı geçen kaynaklarda rastlanmayan İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Marmara Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi'ndeki eksik veriler talep edilmiş ancak veriler sağlanamadığından bu alternatifler de çalışmadan çıkarılmıştır. Güncel tabloda 10 alternatif ve 8 kriter değeri bulunmaktadır. Aşağıdaki tabloda çalışmada yer alan alternatifleri oluşturan üniversitelere ve bu alternatiflerin aldığı kriter değerlerine yer verilmiştir.

**Tablo 4.** 2019 yılına ait elde edilen veriler.

**Table 4.** Data obtained for 2019

	ÖS	YD	MOÖS	AS	LS	PYS	YLÖS	DÖS
Balıkesir Ü.	62	6.36042	50	6	3	40	21	0
Boğaziçi Ü.	72	0.050456	98	15	5	26	81	27
Bursa Uludağ Ü.	82	2.715309	64	13	4	38	82	25
Galatasaray Ü.	31	0.440216	41	17	8	14	42	20
Kocaeli Ü.	82	3.10599	90	13	3	106	81	40
Sakarya Ü.	103	4.114865	121	24	4	52	106	51
Tekirdağ Namık Kemal Ü.	62	8.601541	13	6	1	0	31	0
Türk Alman Ü.	47	1.285296	13	1	2	12	0	0
Yalova Ü.	62	7.329131	43	9	1	16	8	0
Yıldız Teknik Ü.	82	1.146479	123	21	1	79	77	52

## 2. Yöntem

### 2. Method

Marmara Bölgesi'nde Endüstri Mühendisliği eğitimi veren devlet üniversitelerinin çeşitli kriterler doğrultusunda sıralanması için çalışmada CRITIC ve PROMETHEE yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu doğrultuda CRITIC yöntemiyle, kullanılan kriterlerin ağırlık atamaları yapılmıştır. Ardından belirlenen alternatif üniversitelerin performanslarının saptanması amacıyla PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır. PROMETHEE yöntemi belirlenmiş olan alternatiflere ait kısmi ve tam önceliklerin saptanmasını sağlar, böylece daha ayrıntılı bir analize izin verir. Literatür incelendiğinde de üniversitelerin sıralanması, performans ölçümü gibi çalışmaların hatırı sayılır çoğunluğunda Veri Zarflama Analizi'nin kullanıldığı görülmüştür. Bu sebeple de bu çalışmada performans değerlendirmeye ve sıralamaya olanak tanıyan PROMETHEE yönteminden yararlanılmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin bazıları kritiklerin önem ağırlıklarının hesaplanması gibi problemlerde kullanılırken, bazıları ise karar alternatifleri arasından seçim yapılması ya da alternatiflerin sıralanması gibi problemlerde kullanılır. Çalışmada kullanılan CRITIC yöntemi ayrıca kişisel değerlendirme gerektirmeyip, nesnel bir şekilde ağırlıklandırma yapmaktadır. Bu metod uygulanırken Microsoft Excel'den yararlanılmış, formüller yardımıyla ağırlıklandırma yapılmıştır. PROMETHEE metodunun uygulanmasında Visual PROMETHEE yazılımı kullanılmıştır.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### 2.1 CRITIC yöntemi

#### 2.1 CRITIC method

1. Adım: m sayıda alternatif ile n sayıda kriter içeren bir karar verme problemi var olsun. Satırlarında değerlendirmeleri yapılacak olan alternatiflerin, sütunlarında karar vermede kullanılacak olan kriterlerin olduğu bir karar matrisi oluşturulur. A matrisi oluşturulan başlangıç karar matrisi olsun.

$$A = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2. Adım: Alternatif ve kriterlerden oluşturulan A matrisinin sahip olduğu elemanlar standardize ederek R normalize matrisi elde edilir. Bu amaçla

fayda ve maliyet kriterleri için (2) ve (3) denklemlerinde gösterildiği gibi her bir eleman normalize edilmektedir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (3)$$

3. Adım: Üçüncü aşamada kriterlerin aralarındaki ilişki derecesini ölçmek için denklem (4) yardımıyla korelasyon katsayı matrisi oluşturulur.

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)(r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}}, j, k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

4. Adım: Her bir kriterde elde edilen toplam bilginin miktarını ifade C<sub>j</sub> denklem (6) yardımıyla hesaplanır. Bu değeri bulmak için j. kriterin standart sapma değerini gösteren σ<sub>j</sub> değeri denklem (5) yardımıyla bulunur.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2}{m}} \quad (5)$$

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - t_{jk}), j, k = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

5. Adım: Denklem (7) kullanılarak kriter ağırlıkları elde edilir.

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^n C_k}, j, k = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

### 2.2 PROMETHEE yöntemi

#### 2.2 PROMETHEE method

PROMETHEE yöntemi 1982'de Jean-Pierre Brans tarafından ortaya çıkarılmış, sonrasında Brans ve arkadaşlarının geliştirdiği çok kriterli karar verme (ÇKKV) metodudur. PROMETHEE kelimesinin açılımı Türkçede "Zenginleşen Değerlendirmeler için Tercih Sıralaması" anlamına gelmektedir. Bu yöntem diğer ÇKKV metotlarına göre en son geliştirilen metotlardan biri olmakla birlikte, literatürde hali hazırda bulunan önceliklendirme yöntemlerinin uygulama aşamasında yaşanan zorlukları ortadan kaldırmak üzere yola çıkılarak geliştirilmiş ve farklı başlıkları konu alan çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır. Çok kriterli problemlerin çözümünde kullanılan en kolay ve etkili yöntem olarak bilinmektedir ayrıca basit, açık ve dengeli oluşu temel özellikleridir.

PROMETHEE yöntemi belirlenmiş karar noktalarının ikili karşılaştırmalara dayanır. Ancak diğer çok kriterli karar verme metotlarından temel farkı, her bir değerlendirme faktörünün birbirleri arasındaki ilişki düzeyini belirten önem

ağırlıklarının yanı sıra, değerlendirme faktörlerinin kendi iç ilişkilerini de dikkate almasıdır.

Yöntemin en temel iki modeli olan kısmi sıralama yapmaya yarayan PROMETHEE I ile tam sıralama yapan PROMETHEE II'nin geliştirilmesinden kısa bir süre sonra J. P. Brans ve Bertrand Mareschal, PROMETHEE III (aralıklı sıralama) ve PROMETHEE IV (devamlı sıralama) tekniklerini de geliştirmiştir. 1990'ların ilk yarısında yine aynı araştırmacılar PROMETHEE V ile PROMETHEE VI metotlarını da geliştirerek karar verme literatürüne kazandırmıştır (Dağ & Yıldırım, 2014). PROMETHEE I sonucunda ulaşılan pozitif üstünlük ve negatif üstünlük değerleri sonuçların sıralanması hakkında net sonuçlar içermez. İlk sırada ve son sırada yer alan alternatifleri gösterir ancak arada bulunan diğer alternatifler için net sıralama sunmaz. Bu yüzden PROMETHEE II yöntemi kullanarak tam sıralama elde edilebilir. PROMETHEE II metodunda net üstünlük değerleri, kısmi sıralama sonucu elde edilen pozitif

üstünlük değerlerinden ( $\phi^+$ ), negatif üstünlük değerlerinin ( $\phi^-$ ) çıkarılmasıyla bulunur. Bu  $\phi$  (net üstünlük değeri) değerlerinin sıralanması tüm alternatiflere ait tam sıralamayı verir.

Literatüre bakıldığında PROMETHEE yönteminin proje değerlendirme, ekipman seçimi, banka performans ölçümü, tedarikçi seçimi, karlılık analizleri, pazar seçimi, sektör sıralaması gibi çok çeşitli problemlerinde kullanıldığı görülmektedir.

### 2.2.1 PROMETHEE yöntemi aşamaları

#### 2.2.1. Stages of the PROMETHEE method

PROMETHEE metodu 7 adımdan oluşmaktadır. Bu kısımda adımlar tek tek ele alınmıştır.

1. Adım:  $w=(w_1, w_2, \dots, w_k)$  ağırlıkları ile  $k$  kriter  $c=(f_1, f_2, \dots, f_k)$  tarafından değerlendirilen alternatiflere  $a=(A, B, C, \dots)$  ait veri matrisi, Tablo 4'de verilen şekilde oluşturulur (Dağdeviren & Eraslan, 2008).

**Tablo 5.** Veri matrisi.  
**Table 5.** Data matrix

		Değerlendirme Faktörleri				
		$f_1$	$f_2$	$f_3$	...	$f_k$
Karar Noktaları	A	$f_1(A)$	$f_2(A)$	$f_3(A)$	...	$f_k(A)$
	B	$f_1(B)$	$f_2(B)$	$f_3(B)$	...	$f_k(B)$
	C	$f_1(C)$	$f_2(C)$	$f_3(C)$	...	$f_k(C)$
Ağırlıklar	$w_i$	$w_1$	$w_2$	$w_3$	...	$w_k$

2. Adım: Tüm kriterler için aranan özelliklere bağlı olarak tercih fonksiyonları tanımlanır. PROMETHEE yönteminde Olağan, U-tipi, V-tipi,

Seviyeli, Lineer ve Gaussian olmak üzere 6 farklı tercih fonksiyonu çeşidi bulunmaktadır.

**Tablo 6.** Tercih fonksiyonları. (Dağdeviren & Eraslan, 2008)  
**Table 6.** Preference functions (Dağdeviren & Eraslan, 2008)

Tip	Parametreler	Fonksiyon	Grafik, $p(x)$
Birinci Tip (olağan)	-	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$	
İkinci Tip (U-tipi)	$l$	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ 1, & x > l \end{cases}$	

**Tablo 6.** devamı  
*Table 6.* continuing

Üçüncü Tip (V-tipi)	$m$	$p(x) = \begin{cases} x/m, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \end{cases}$	
Dördüncü Tip (Seviyeli)	$q, p$	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1/2, & q < x \leq q + p \\ 1, & x > q + p \end{cases}$	
Beşinci Tip (Lineer)	$s, r$	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s \\ (x - s)/r, & s \leq x \leq s + r \\ 1, & x \geq s + r \end{cases}$	
Altıncı Tip (Gaussian)	$\sigma$	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-x^2/2\sigma^2}, & x \geq 0 \end{cases}$	

Buradaki parametreler;

q: Farksızlık Değeri p: Kesin Tercih Eşiği

s: p ve q arasındaki ara değer veya standart sapmayı temsil etmektedir.

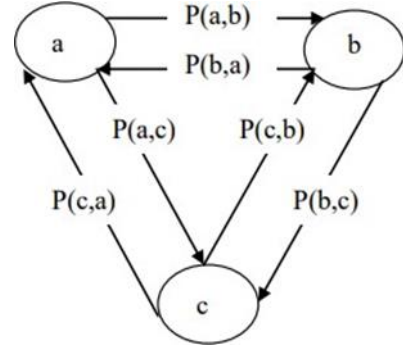
q değeri, değerlendirme faktörlerinin karar noktalarına göre en büyük fark değeri iken, p değeri ise en küçük farktır.

“d” değeri, iki karar noktasında bulunan değerler arasındaki farktır (Pavi & Babi, 1991).

3. Adım: Bir önceki adımda belirlenmiş olan tercih fonksiyonlarından yola çıkılarak alternatif çiftlerine ortak olan tercih fonksiyonları tespit edilir. Bu fonksiyonlara ait şematik gösterim Şekil 1’de verilmiştir. a ve b alternatiflerine ait ortak tercih fonksiyonu Eşitlik 8 ile belirlenir.

$$P(a,b) = \begin{cases} 0 & , f(a) \leq f(b) \\ p[f(a) - f(b)] & , f(a) > f(b) \end{cases} \quad (8)$$

4. Adım: Üçüncü adımda elde edilen ortak tercih fonksiyonlarından yola çıkılarak her alternatif çiftine ait tercih indeksleri tespit edilir. Alternatif kümesinde ağırlığı  $w_i$  ( $i=1,2,\dots,k$ ) olan k kadar



**Şekil 1.** Ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi. (Dağdeviren & Eraslan, 2008)

**Figure 1.** Schematic representation of common preference functions.

kriter için değerlendirilen a ve b alternatiflerinin sahip olduğu tercih indeksleri Eş. 9 ile hesaplanır.

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^k w_i * P_i(a, b)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (9)$$

5. Adım: Eşitlik 10 ve Eşitlik 11 kullanılarak alternatiflere ait pozitif üstünlük değerleri ve negatif üstünlük değerleri hesaplanır.

$$\Phi^+(a) = \sum \pi(a, x) \quad x=(b, c, d, \dots) \quad (10)$$

$$\Phi^-(a) = \sum \pi(x, a) \quad x=(b, c, d, \dots) \quad (11)$$

6. Adım: Bu adımda PROMETHEE I metoduyla kısmi sıralama belirlenir. Kısmi öncelikler; alternatif kümesinde bulunan alternatiflerin karşılıklı olarak tercih edilme durumlarını, birbirinden farkı bulunmayan alternatifleri ve

birbirleriyle karşılaştırılmayacak alternatiflerin saptanmasını sağlamaktadır. a ve b alternatif kümesinde yer alan iki alternatifin kısmi önceliklerin tespitinde üç durum söz konusudur.

I. Durum: Aşağıdaki koşullardan biri sağlandığı zaman, b alternatifi için bir alternatif tercih edilir.

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (12)$$

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \quad (13)$$

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (14)$$

II. Durum: Koşul aşağıdaki şekilde ise, alternatifler birbirlerinden farksızdır.

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \quad (15)$$

III. Durum: Aşağıdaki koşullardan biri sağlandığı zaman, a alternatifi ile b alternatifi karşılaştırılmaz.

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) > \Phi^-(b) \quad (16)$$

$$\Phi^+(a) < \Phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (17)$$

7. Adım: PROMETHEE I sonuçları, kısmi sıralama yaptığı için tam bir sıralama yapmak isteyen karar vericiler için yeterli olmamaktadır. Bu durumda PROMETHEE II tam sıralamadan yararlanır. Bu adımda PROMETHEE II ile alternatiflere ait net

öncelikler Eş. 18 yardımı ile hesaplanır. Hesaplanan net öncelik değerleri ve alternatif kümesinde bulunan tüm değerler aynı değerlendirilerek tam sıralama elde edilir.

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (18)$$

$\Phi(a) > \Phi(b)$  ise a alternatifi daha üstündür.

$\Phi(a) = \Phi(b)$  ise a ve b alternatifleri farksızdır.

### 3. Problemin çözümü

#### 3. Solution of the problem

CRITIC yöntemin adımları olan karar matrisinin düzenlenmesi, normalize edilmiş karar matrisinin elde edilmesi, kriter çiftleri arasındaki korelasyon

katsayılarının hesaplanması, kriterlerde bulunan toplam bilginin hesaplanması ve kriter ağırlıklarının hesaplanması adımları EXCEL yardımıyla uygulanmış ve kriterlere ait ağırlık değerleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

**Tablo 7.** Normalize edilmiş karar matrisi

**Table 7.** Normalized decision matrix

Normalize Karar Matrisi								
	ÖS	YD	MOÖS	AS	LS	PYS	YLÖS	DÖS
min/max	min	min	max	max	max	max	max	max
BAUN	0.569	0.262	0.336	0.217	0.286	0.377	0.198	0.000
BOUN	0.431	1.000	0.773	0.609	0.571	0.245	0.764	0.519
UU	0.292	0.688	0.464	0.522	0.429	0.358	0.774	0.481
GSU	1.000	0.954	0.255	0.696	1.000	0.132	0.396	0.385

**Tablo 7.** devamı  
*Table 7.* continuing

<b>KOU</b>	0.292	0.643	0.700	0.522	0.286	1.000	0.764	0.769
<b>SAU</b>	0.000	0.525	0.982	1.000	0.429	0.491	1.000	0.981
<b>NKU</b>	0.569	0.000	0.000	0.217	0.000	0.000	0.292	0.000
<b>TAU</b>	0.778	0.856	0.000	0.000	0.143	0.113	0.000	0.000
<b>YU</b>	0.569	0.149	0.273	0.348	0.000	0.151	0.075	0.000
<b>YTU</b>	0.292	0.872	1.000	0.870	0.000	0.745	0.726	1.000

**Tablo 8.** İlişki katsayı matrisi  
*Table 8.* Correlation coefficient matrix

İlişki Katsayı Matrisi								
	ÖS	YD	MOÖS	AS	LS	PYS	YLÖS	DÖS
ÖS	1.000	0.085	-0.770	-0.548	0.277	-0.618	-0.770	-0.690
YD	0.085	1.000	0.389	0.390	0.558	0.240	0.379	0.494
MOÖS	-0.770	0.389	1.000	0.853	0.104	0.729	0.857	0.919
AS	-0.548	0.390	0.853	1.000	0.381	0.477	0.834	0.894
LS	0.277	0.558	0.104	0.381	1.000	-0.102	0.304	0.198
PYS	-0.618	0.240	0.729	0.477	-0.102	1.000	0.610	0.746
YLÖS	-0.770	0.379	0.857	0.834	0.304	0.610	1.000	0.903
DÖS	-0.690	0.494	0.919	0.894	0.198	0.746	0.903	1.000

Bu matrisler oluşturulduktan sonra diğer adımlar da uygulanarak en sonunda kriterlerin ağırlık

değerlerine ulaşılmıştır. Bu çalışma için ağırlık değerleri aşağıdaki gibidir:

**Tablo 9.** Kriterlere ait ağırlık değerleri  
*Table 9.* Weight values of the criteria

	ÖS	YD	MOÖS	AS	LS	PYS	YLÖS	DÖS
<b>Wj</b>	0.2185	0.12096525	0.11146371	0.088937635	0.12761636	0.117865123	0.103910779	0.110716406

Daha sonra PROMETHEE işlemine geçilmiştir. Bunun için Visual PROMETHEE paket programı kullanılmıştır. Tüm alternatifler, kriterler, tercih

fonksiyonu gibi yazılım tarafından istenen veriler girildikten sonra işlemler uygulanmış ve sonuçlara ulaşılmıştır.

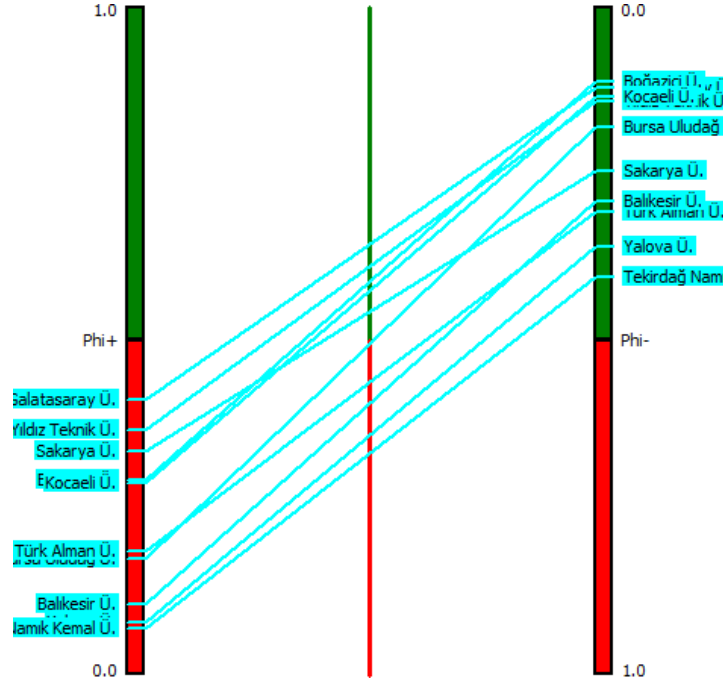
Rank	action		Phi	Phi+	Phi-
1	Galatasaray Ü.	<input type="checkbox"/>	0.2905	0.4116	0.1210
2	Yıldız Teknik Ü.	<input type="checkbox"/>	0.2253	0.3651	0.1398
3	Boğaziçi Ü.	<input type="checkbox"/>	0.1781	0.2898	0.1117
4	Kocaeli Ü.	<input type="checkbox"/>	0.1511	0.2859	0.1348
5	Sakarya Ü.	<input type="checkbox"/>	0.0880	0.3330	0.2450
6	Bursa Uludağ U.	<input type="checkbox"/>	-0.0050	0.1735	0.1785
7	Türk Alman Ü.	<input type="checkbox"/>	-0.1224	0.1847	0.3071
8	Balikesir Ü.	<input type="checkbox"/>	-0.1858	0.1040	0.2898
9	Yalova Ü.	<input type="checkbox"/>	-0.2822	0.0772	0.3594
10	Tekirdağ Namık Kemal	<input type="checkbox"/>	-0.3376	0.0671	0.4047

**Şekil 2.** PROMETHEE akış tablosu  
*Figure 2.* PROMETHEE flow chart

Şekil 2’de çalışmada yer alan alternatif üniversitelere ilişkin PROMETHEE II Tam Sıralama sonucu göz önünde bulundurularak oluşturulmuş Akış Tablosu’na yer verilmiştir. Tabloda Phi, Phi+ ve Phi- değerleri bulunmakta ve alternatiflerin net Phi değerlerine göre sıralamasını görülebilmektedir. Phi değerleri pozitif üstünlük

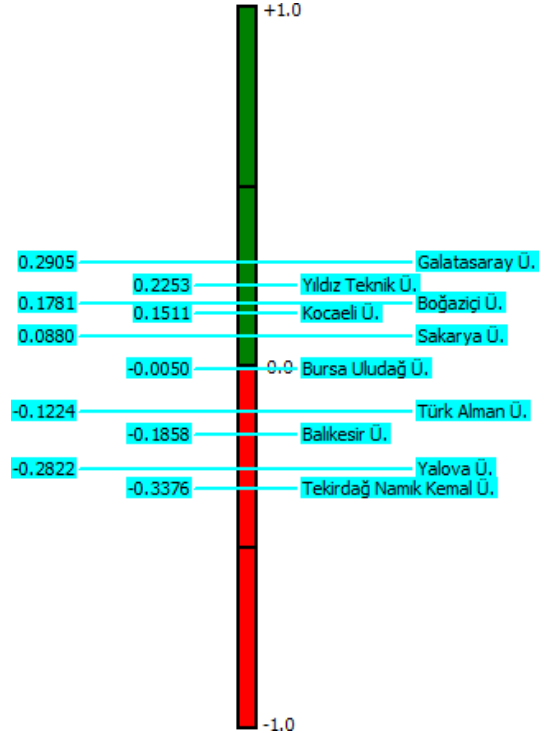
değerleri ve negatif üstünlük değerlerinin farkından elde edilen net üstünlük değerlerini göstermektedir.

Verilere ait kısmi sıralama ve tam sıralama sonuçlarına ait grafiklerin Visual PROMETHEE çıktılarını aşağıda yer verilmiştir.



Şekil 3. PROMETHEE I (kısmi sıralama) sonuçları  
Figure 3. PROMETHEE I (partial sorting) results

PROMETHEE I yani Kısmi Sıralama sonucunda ilk ve son sırada yer alacak tercihler belli olabilir ancak bu iki alternatif arasındaki değerler net olarak sıralanamamaktadır. Bunun önüne geçmek amacıyla PROMETHEE II (Tam Sıralama) metodu ile alternatifler arasındaki tam sıralama elde edilmektedir. Tam Sıralamanın hesaplanması aşamasında, kısmi sıralama ile elde edilen pozitif ve negatif üstünlük değerleri kullanılır. Pozitif üstünlükten negatif üstünlük değeri çıkarılarak net üstünlük değeri ulaşılır.



Şekil 4. PROMETHEE II (tam sıralama) sonuçları  
Figure 4. PROMETHEE II (complete sorting) results



PROMETHEE II ile 0 ile +1 arasında yer alan değerler, tercih edilmede ilk sıralarda bulunacak değerleri oluşturmaktadır (Şahin & Akkaya, 2013). Bu yöntem sonucunda, daha önce belirlenen kriter değerleri doğrultusunda alternatiflerin net olarak sıralaması elde edilir. Şekil 4'te PROMETHEE II sonuçlarına yer verilmiştir, bu tam sıralamanın sonucuna göre Galatasaray Üniversitesi 0.2905 net üstünlük değeri ile diğer alternatifleri geçerek ilk sırada yer alırken, -0.3376 net üstünlük değeri ile Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi son sırada bulunmaktadır.

#### 4. Çalışmanın kısıtları, sonuç ve öneriler

##### 4. Limitations, conclusion and recommendations

Bu çalışmada Endüstri Mühendisliği eğitimi verilen devlet üniversiteleri Marmara Bölgesi ile kısıtlanarak akademik başarılarına göre, belirlenen kriterler çerçevesinde sıralanmak istenmiştir. Kriterler için ağırlıklandırma yöntemi olarak CRITIC metodundan yararlanılmış, sıralamada ise ÇKKV yöntemlerinden PROMETHEE I ve II metodu kullanılarak kısmi sıralamalar ve tam sıralamalar elde edilmiştir. Çalışma sonucunda 0.2905 net üstünlük değeri ile Galatasaray Üniversitesi ilk sırada yer alırken, Namık Kemal Üniversitesi -0.3376 ile son sıraya yerleşmiştir.

Çalışmanın en önemli kısıtlarından biri verilere sınırlı erişim kısıtı olmuştur. Çalışma için 16 farklı üniversitenin çeşitli verilerine ihtiyaç duyulmaktadır, yökatlas.gov.tr, üniversitelerin resmi web siteleri ya da 2019 yılı faaliyet raporlarından elde edilemeyen veriler için İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Marmara Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi ile iletişime geçilip eksik veriler talep edilmiş ancak veriler sağlanamadığından bu alternatifler de çalışmadan çıkarılmıştır.

Diğer bir kısıt olarak kriterler arasında yer alan "Mezun Sayısı" için araştırmada söz konusu olan yıl için henüz mezun öğrenci bulundurmamaları nedeniyle veri sağlanamayan Bursa Teknik Üniversitesi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi ve Gebze Teknik Üniversitesi listeden çıkarılmıştır. Bunlar dışında kalan on alternatif için doğru veriler elde edilip çalışma bu veriler üzerinden yürütülmüştür. Çalışma kapsamı bölüm kısıtlaması ya da bölge kısıtlaması olmaksızın genişletilebilir olmasına karşın bu kadar kısıtlı kapsamda dahi eksik verilerin olması bu önerilen çalışmaların da veri sağlama nedeni ile zorluğunu ortaya koymaktadır.

Analiz sonucuna göre Marmara Bölgesi'nde Endüstri Mühendisliği veren devlet üniversitelerin akademik başarı sıralamaları Galatasaray Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Boğaziçi Üniversitesi, Kocaeli Üniversitesi, Sakarya Üniversitesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türk Alman Üniversitesi, Balıkesir Üniversitesi, Yalova Üniversitesi ve Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi şeklindedir. Bursa Uludağ Üniversitesi'ne kadar olan alternatiflerin net üstünlük değerleri pozitifdir, Uludağ üniversitesi ve sonrasındaki üniversitelerin net üstünlük değerleri ise negatife dönmüştür. Sonuç tablosuna bakıldığında Boğaziçi Üniversitesi'nin negatif üstünlük olarak Yıldız Teknik Üniversitesi ve Galatasaray Üniversitesi'nden daha iyi bir değere sahip olmasına rağmen pozitif üstünlük ve net üstünlük değerleri ile üçüncü sıraya gerilediği görülmektedir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda kapsam genişletilerek Türkiye genelinde tüm üniversiteler değerlendirilerek genel bir sıralamanın elde edilmesi, belirlenen bir üniversitenin bir fakültesine ait bölümlerin sıralanması ya da genel olarak ülkemizdeki üniversitelerin yurt dışındaki üniversitelerle değerlendirilerek bir sıralama yapılması mümkündür.

#### Yazar katkısı

##### Author contribution

Araştırmacıardan Çağıl; makale konusunun ve kapsamının belirlenmesi, verilerin üniversitelerden talebi konularında (%30) katkı sunmuştur. Ayar, literatür verilerinin elde edilmesi, verilerin düzenlenmesi ve CRITIC metodunun uygulanması konularında (%40) katkı sağlamış, Mutlu ise PROMETHEE metodu ile sıralamaların yapılması, makalenin yazım kısmının şekillendirilmesine yönelik (%40) katkı sunmuştur.

#### Etik beyanı

##### Declaration of ethical code

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

**Çıkar çatışması beyanı***Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

**Kaynaklar***References*

- Abbott, M. & Doucouliagos, C. (2003). The efficiency of Australian universities: a data envelopment analysis. *Economics of Education Review*, 22(1), 89-97. [https://doi.org/10.1016/S0272-7757\(01\)00068-1](https://doi.org/10.1016/S0272-7757(01)00068-1)
- Agraval, N. (2021). Multi-criteria decision-making toward supplier selection: exploration of PROMETHEE II method, *Benchmarking: An International Journal*. <https://doi.org/10.1108/BIJ-02-2021-0071>
- Agustina, R., Dwanoko, Y. S., Susanto, G., Kuswinardi, W., Purwanto, H. L. & Suprianto, D. (2019). Decision makind system vocational high school election using PROMETHEE method. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Akbulut, O.Y. (2019). CRITIC & EDAS yöntemleri ile İş Bankası'nın 2009-2018 yılları arasındaki performansının analizi, *Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 249-263. <https://doi.org/10.30784/epfad.594762>
- Aladağ, Z., Alkan, A., Güler, E. & Özdin, Y. (2018). Akademik birimlerin veri zarflama analizi ve PROMETHEE yöntemleri ile performans değerlendirilmesi: Kocaeli Üniversitesi örneği. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 34(1).
- Albadvi, A., Chaharsooghi, K. & Esfahanipour, A. (2007). Decision making in stock trading: An application of PROMETHEE, *European Journal of Operational Research*, 177(2), 678-693. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.11.022>
- Aliyev, R., Temizkan, H. & Aliyev, R. (2020) Fuzzy analytic hierarchy process-based multi-criteria decision making for universities ranking, *Symmetry*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/sym12081351>
- Apan, M. & Öztel, A. (2020). Girişim sermayesi yatırım ortaklıklarının CRITIC-PROMETHEE bütünleşik karar verme yöntemi ile finansal performans değerlendirilmesi: Borsa İstanbul'da bir uygulama. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 63, 54-73.
- Arık, N. & Seyhan, B. (2016). TOP 500'deki Türk üniversitelerinin veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümü. *Kesit Akademi Dergisi*, 2(6), 198-209.
- Arslan, A. & Güven, Ö. (2018). Veri zarflama analizi ile üniversitelerin etkinliklerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma: Türkiye örneği, *Uluslararası Afro-Avrasya Araştırmaları Dergisi* (2).
- Aygün, F. (2011). *PROMETHEE sıralama yöntemi ile yatırım projesi değerlendirme ve üretim sektöründe uygulanması* [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]
- Bağcı, H. & Esmer, Y. (2016). PROMETHEE yöntemi ile faktoring şirketi seçimi, *Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(2), 116-129. <https://doi.org/10.18221/bujss.14955>
- Bal, V. (2013). Vakıf üniversitelerinde veri zarflama analizi ile etkinlik belirlenmesi, *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(1).
- Baharat, E. N. (2019). *PROMETHEE yöntemiyle tercih edilen otomobil markasının hizmet kalitesi ve müşteri memnuniyetinin değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü]
- Can, G.F. & Kargı, Ş. (2019). Sektörlerin iş sağlığı ve güvenliği yönünden risk seviyelerinin CRITIC-EDAS entegrasyonu ile değerlendirilmesi, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 30(1), 15-31.
- Coşkun, S. S. (2015). *Eğitim kurumlarının kurumsal performanslarının ölçüm modellemesi: Çok kriterli yöntem uygulanması* [Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü]
- Çakır, S., & Perçin, S. (2013). Çok kriterli karar verme teknikleriyle lojistik firmalarında performans ölçümü, *Ege Akademik Bakış*, 13(4), 449-459.
- Çalışkan, E. & Eren, T. (2016). Bankaların performanslarının çok kriterli karar verme yöntemiyle değerlendirilmesi, *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 85-107.
- Çavdar, H. & Özçalık, S. (2019). İşletme performanslarının karşılaştırılması: BIST'te PROMETHEE yöntemiyle bir uygulama, *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 26(3), 815-832. <https://doi.org/10.18657/yonveek.587858>
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G. & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: the CRITIC method, *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(94\)00059-H](https://doi.org/10.1016/0305-0548(94)00059-H)
- Dağdeviren, M. & Eraslan, E. (2008). PROMETHEE sıralama yöntemi ile tedarikçi seçimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 69- 75.

- Demircioğlu, M. & Coşkun, İ. T. (2018). CRITIC-MOOSRA yöntemi ve UPS seçimi üzerine bir uygulama. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 27(1), 183-195.
- Doğan, N. Ö. & Uçak, H. (2018). Üniversite tercihinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılması: vakıf üniversitelerinin ameliyathane programları üzerine bir analitik hiyerarşi prosesi uygulaması. *Neşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 8(2), 265-286. <https://doi.org/10.30783/nevsosbilen.465190>
- Ishizaka, A., Pickernell, D. Huang, S. & Senyard, J. (2020). Examining knowledge transfer activities in UK universities: advocating a PROMETHEE-based approach. *International Journal of Entrepreneurial Behaviour & Research*, 26(6), 1389-1409. <https://doi.org/10.1108/IJEER-01-2020-0028>
- Işık, Ö. (2019). Türkiye’de hayat dışı sigorta sektörünün finansal performansının CRITIC tabanlı TOPSIS ve MULTIMOORA yöntemiyle değerlendirilmesi. *BMIJ*, 7(1), 542-562. <http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v7i1.1090>
- Jati, H., Nurkhamid, & Wardani, R. (2021), Visibility Ranking of University E-Learning Websites – CRITIC Method Approach, 1737(3).
- Kılıç, O. & Çerçioğlu, H. (2016). TCDD iltisak hatları projelerinin değerlendirilmesinde uzlaşık çok ölçütlü karar verme yöntemleri uygulaması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 211-220. <https://doi.org/10.17341/gummfd.15002>
- Kordon, E. (2006). *Yetkinliklere dayalı kariyer planlama ve endüstri mühendisliği öğrencileri için bir uygulama* [Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi]
- Küçüköğlü, S. (2020). *Çok kriterli karar verme yöntemleri ile Türkiye’de nükleer santral kuruluş yeri seçimi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü]
- Murat, S., Kazan, H. & Coşkun, S. (2015). An application for measuring performance quality of schools by using the PROMETHEE multi-criteria decision making method. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 195, 729- 738.
- Orakçı, E., & Özdemir, A. (2017). Telif edici çok kriterli karar verme yöntemleri ile Türkiye ve AB ülkelerinin insani gelişmişlik düzeylerinin belirlenmesi. *AKÜ İİBF Dergisi*, 19(1), 61-74. <https://doi.org/10.5578/jeas.49652>
- Özdemir, D. (2019). *PROMETHEE Yöntemi ile Türkiye’de yenilenebilir enerji alternatiflerinin sıralanması* [Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü]
- Özden, C. (2008). Veri zarflama analizi (VZA) ile Türkiye’deki vakıf üniversitelerinin etkinliğinin ölçülmesi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 37(2), 167-185.
- Özel, G. (2014) Devlet üniversitelerinin etkinlik analizi: Türkiye örneği, *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 29(3), 124-136.
- Rençber, Ö. F. (2018). İllerin bilgi ve iletişim teknolojileri gelişmişliklerine göre sıralanması: PROMETHEE yöntemi ile örnek uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 33, 271-285. <https://doi.org/10.30794/pausbed.425451>
- Şahin, A. & Akkaya, G. C. (2013). PROMETHEE sıralama yöntemi ile portföy oluşturma üzerine bir uygulama. *Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları*, 2(2), 67-81.
- Şahin, O. (2018). *Türkiye’deki bireysel emeklilik şirketlerinin bireysel emeklilik yatırım fonları üzerinden performanslarının değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü]
- Şenkayas, H. & Hekimoğlu, H. (2013). Çok kriterli tedarikçi seçimi problemine PROMETHEE yöntemi uygulaması, *Verimlilik Dergisi*, 0(2), 63-80.
- Ulucan, A. (2011). Measuring the efficiency of Turkish universities using measure-specific data envelopment analysis. *Sosyo Ekonomi*, 14(1), 181-196.
- Urfaloğlu, F. & Genç, T. (2013). Çok kriterli karar verme teknikleri ile Türkiye’nin ekonomik performansının Avrupa Birliği üye ülkeleri ile karşılaştırılması. *Marmara Üniversitesi İ.İ.B. Dergisi*, 35(2), 329-360.
- Ünlü, U, Yalçın, N. & Yağlı, İ. (2017). Kurumsal yönetim ve firma performansı: TOPSIS yöntemi ile BIST 30 firmaları üzerine bir uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19(1), 63-81. <https://doi.org/10.16953/deusbed.09673>
- Wing, S., Wei, G., Lu, J., Wu, J., Wei, C. & Chen, X. (2021), GRP and CRITIC method for probabilistic uncertain linguistic MAGDM and its application to site selection of hospital constructions. *Soft Comput.* <https://doi.org/10.1007/s00500-021-06429-2>
- Vetschera, R. & Almeida, A. (2012). A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. *Computers & Operation Research*, 39(5), 1010-1020. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.06.019>

Yalçın, N. & Karakaş, E. (2019). Kurumsal sürdürülebilirlik performans analizinde CRITIC-EDAS yaklaşımı. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(4), 147-161.  
<https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.70416>  
7

## Numerical investigation of the effect of slope angle and height on the stability of a slope composed of sandy soil

*Kumlu zeminden oluşan bir şev stabilitesine şev açısı ve yüksekliğinin etkisinin sayısal olarak incelenmesi*

Nichirvan Ramadhan TAHER<sup>1,a</sup>, Mesut GÖR<sup>\*1,b</sup>, Hüseyin Suha AKSOY<sup>1,c</sup>, Halmat Ahmed AWLLA<sup>2,d</sup>

<sup>1</sup>Firat University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 23119, Elazığ, Turkey

<sup>2</sup>Erbil Polytechnic University, Choman Tech. Institute, Department of Information Technology, 44010, Choman, Iraq

• Geliş tarihi / Received: 31.12.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 07.03.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 22.03.2022

### Abstract

Slope stability issues are very frequently in civil engineering applications and are commonly encountered in huge and significant projects such as dams, highways and tunnels, etc. This study examines the impact of slope height (H) and slope angle ( $\beta$ ) on the stability of loose granular soil slope underlined by dense granular soil layer. For this purpose, a number of finite element analyses were conducted on a full-scale soil slope. The computer program Plaxis 2D code was used which is based on the finite element method (FEM). The granular soils were described by non-linear hardening soil model, which is an advanced elastoplastic stress-strain constitutive soil model. Six different slope angles were investigated and for each angle, six different heights were chosen. In total, twelve series of numerical analyses were executed. In the first six series, it was assumed that there is no surcharge load on the top of the slope. In the second six series, the effect of surcharge load was also investigated. According to numerical analysis results, it was found that the slope height and slope angle have a considerable effect on the safety factor (FS) of the slope. It was also noticed that most of the failure surfaces of the slope were circular and classified as face slope failure. It was observed that by increasing slope height and the slope angle, the FS of the slope decreases and vice versa. In addition, curves and charts have been proposed to easily estimate the FS of loose granular soil slope.

**Keywords:** Loose granular soil, Safety factor, Plaxis 2D, Slope angle, Slope stability

### Öz

*İnşaat mühendisliği uygulamalarında şev stabilitesi sorunları çok yaygın olup özellikle baraj, otoyol, tünel vb. projelerin uygulamalarında sıklıkla karşılaşılmaktadır. Bu çalışmada, granüler (daneli) sıkı bir zemin tabakası üzerine oturan gevşek daneli bir zemin tabakasının olduğu bir zemin profili esas alınarak şev yüksekliği (H) ve şev açısı ( $\beta$ ) değişiminin şev duraylılığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla tam ölçekli bir şevde çok sayıda sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Analizlerde sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile çalışan Plaxis 2D programı kullanılmıştır. İki granüler zemin, gelişmiş bir elastoplastic gerilme-şekil değiştirme modeli olan doğrusal olmayan bir pekleşen zemin modeli (hardening soil model) ile tanımlanmıştır. Altı farklı şev açısı incelenmiş olup her açı için altı farklı şev yüksekliği seçilmiştir. Toplamda on iki seri sayısal analiz yapılmıştır. İlk altı seride şevin tepesinde herhangi bir sürşarj yükü olmadığı varsayılmıştır. İkinci altı seride ise sürşarj yükünün etkisi de araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, şev yüksekliği ve eğim açısının şevin güvenlik katsayısı (FS) üzerinde önemli etkileri olduğu bulunmuştur. Analiz sonuçlarına göre, yenilme yüzeylerinin çoğunun dairesel olduğu ve yüzeysel (sığ) kayma olarak sınıflandırılabileceği görülmüştür. Şev yüksekliğinin ve şev açısının artması ile FS'nin azaldığı gözlemlenmiş olup bunun tersi durumda ise FS'nin arttığı görülmektedir. İlaveten, gevşek daneli zeminlerden oluşan şevlerin FS'sini kolayca tahmin etmek için eğriler ve çizelgeler önerilmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** Gevşek granüler zemin, Güvenlik katsayısı, Plaxis 2D, Şev açısı, Şev duraylılığı

<sup>a</sup> Mesut GÖR; mgor@firat.edu.tr, Tel: (0424) 237 00 00 (5406), orcid.org/0000-0002-5463-9278

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-1295-080X

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0003-0564-457X

<sup>d</sup> orcid.org/0000-0002-0545-0962

## 1. Introduction

### 1. Giriş

Slope stability analysis is one of the significant research topics of geotechnical engineering. The reason for this is that slope instability can cause serious loss of life and property, similar to natural disasters such as earthquakes and floods. The stability of all-natural and artificial slopes against collapse under the influence of both their weight and applied loads are generally analysed by limit equilibrium methods based on elastic theory (Taşkıran et al., 2015). However, geotechnical engineers have utilized various methods and techniques for the analysis of earth slopes, some of these methods are Finite Element Method (FEM) based on cohesion (c) and soil internal friction angle ( $\phi$ ) reduction, Limit Equilibrium Method (LEM) or Limit Equilibrium Analysis (LEA), Finite Difference Method (FDM), Limit Analysis (LA), and combination of Finite Element Method and Finite Difference Method (Jha et al., 2018). Slope stability issues are extremely prevalent and ubiquitous. Large and significant projects such as dams, highways, and tunnels, are particularly prone to slope stability issues (Pourkhosravani & Kalantari, 2011). Slope stability issues can result in significant social and economic losses (Halder et al., 2020). In geotechnical projects such as Cuts, fills, dams and road embankments, it is necessary to do slope stability analysis because it does concern the safety of human life and properties. Therefore, sufficient inspections, remedies, and engineering solutions have to be supplied for slopes to prevent possibly devastating collapse (Shiferaw, 2021). Kanık (2019) used FEM for the slope stability of the abutments of Ayvali Dam (NE, Turkey) and determined how well the obtained results corresponded to the situations that emerged after the dam construction was completed. Kaya et al. (2016) used the LE method to study the stability assessment of high-steep cut slope debris on a landslide around the vicinity of Gümüşhane Imam-Hatip High School in NE Turkey. Slope stability analysis is one of the most important subjects in geotechnical engineering (Yang & Huang, 2009). Slope geometry, soil type, shear strength properties of soil, soil stratification, groundwater condition, and seepage have a considerable impact on slope failure, that's why it is important to consider all of these parameters while the analysis of slope stability (Halder et al., 2020).

From the past until today, many authors have worked on slope stability problems and they have developed various methods for estimating the FS of

the slope involving computer-based finite element analysis methods. However, among all of these methods, none is recommended above the others, that's why most of the time engineers use their experience and engineering judgment for the reliability of any solution (Albatineh, 2006). In slope stability analysis, the common problem of engineers is to locate the critical slip surface of the slope while using hand calculations. There are some approaches suggested by various researchers to locate the critical failure slip of the slope (Boutrup & Lovell, 1980; Siegel, 1975; Goh, 1999; Zolfaghari et al., 2005; Bolton et al., 2003; Cheng, 2003). Nonetheless, many engineers would rather have to utilize their expertise to discover the most critical failure surface of the slope, and then use trial and error processes to estimate the FS. Currently, there are many commercial software packages, so with the help of such software, the analysis of slope stability is done more easily by mathematical modelling. Nowadays, mathematical models are used in a variety of disciplines, including civil engineering also, to predict certain natural behaviours (Akbaş, 2015; Alemdag et al., 2015; Awlla et al., 2020; Keskin et al., 2022; Awla & Karaton, 2021). When finite element method analysis is used for determining the FS of the slope, it does not need to make a previous assumption about the critical failure surface. In numerical analysis, the strength reduction method is used for calculating FS, in this technique, the shear strength parameters of the soil are decreased in stages until soil failure happens. After that, the FS of the slope is determined as the proportion of the actual properties of the shear strength of the soil and the reduced (critical) shear strength parameters of the soil. In the strength reduction method, the FS is defined as in equation (1) (Griffiths & Lane, 1999);

$$FS = \frac{\tan \phi_{input}}{\tan \phi_{reduced}} = \frac{c_{input}}{c_{reduced}} \quad (1)$$

Taşkıran et al., (2015) investigated the applicability of the Strength reduction method by using Plaxis 2D and 3D program code which is based on the Finite Element Method for analysis of slope stability problems. In addition, slope stability analyses were also carried out using the Limit Equilibrium Method (LEM) and the FS obtained from both methods were compared. It was found that the FS values obtained with the three-dimensional slope model were greater than the value obtained in the two-dimensional case, and the FS values obtained by the strength reduction technique were in harmony with the FS values obtained by the limit equilibrium methods. Many researchers have used this method for slope

stability analysis and it has been incorporated into various commercial program codes (Dawson et al., 1999). Generally, the Mohr-Coulomb failure criterion is used in the phi-c reduction method, and the definition of FS in this method is in good agreement with the equilibrium method. The researchers state that the results of the two methods are approximately the same, however, the limit equilibrium results are somewhat conservative (Djilali et al., 2017; Azadmanesh & Arafati, 2012; Khabbaz et al., 2012). When analysing slope stability, engineering properties of the soil, slope geometry, and groundwater situations are usually taken into account. This points up that the significance of the slope geometry in estimating the FS (Shephard et al., 2017).

There are various techniques that can be used for slope stabilization, Broms and Wong, (1985) classified slope stabilization as structural and geometric. Geometric methods include reducing the angle and height of the slope, as the angle of the slope ( $\beta$ ) is reduced from a steep slope to a gentler slope, thereby obtaining the higher FS of the slope. By decreasing the slope height (H), the FS is also increased because the driving force of gravity is reduced, causing the slope to collapse. Many researchers have used soil improvement to study the behaviour of the reinforced slope stability soil using different types of materials (Anvari et al., 2017; Li et al., 2020; Aksoy et al., 2021a; Aksoy et al., 2021b). A number of researchers have studied a few case studies of slope failure and performed static and dynamic analysis using numerical analysis and compared to analytical methods to better understand the slope failure mechanism (Huvaj & Oğuz, 2018; Tien Bui et al., 2019; Moayedi et al., 2019; Awlla et al., 2020; Gör, 2021; Gör et al., 2022).

There are many methods and techniques to improve the stability of slopes, and modifying the geometry of the slope is one of the options. This article aims to investigate the influence of the geometry of the slope (slope angle and height of the slope) on the stability of the slope of a loose granular soil resting on dense soil. Parametric studies are slope angle (H:V), slope height (H) and surcharge load on the top of the slope.

## 2. Numerical modelling and analysis

### 2. Sayısal modelleme ve analiz

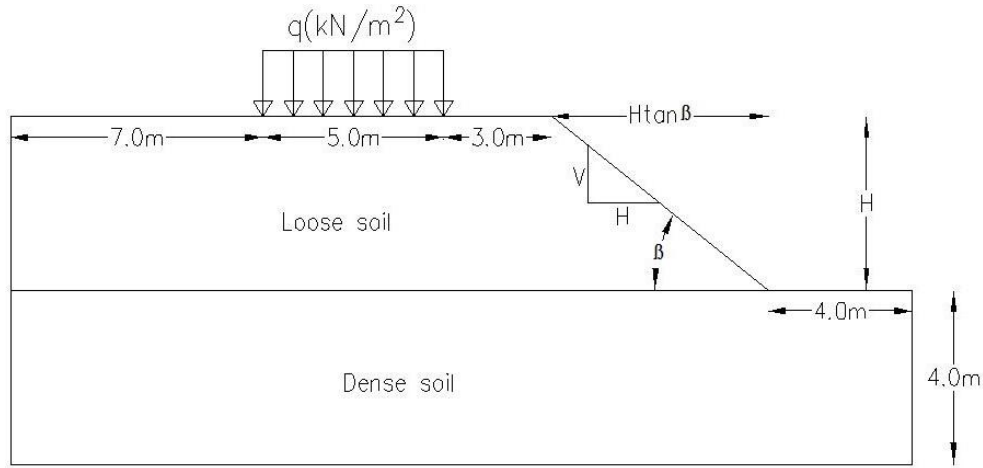
In this study, Plaxis 2D program code was used which is based on finite element method program. Because it is not easy to do the experimental test for the large-scale slope in the field and in the

laboratory as well, which is why FEM was used in this study. Plaxis is one of the powerful programs which can help users in characterizing geotechnical problems in a realistic manner. The stability of a structure during and after construction may be assessed using staged construction analysis (Sharma et al., 2019). This study investigates the effect of height and slope angle on the stability of loose granular soil slope underlain by dense granular soil. For this purpose, a series of finite element analyses were done. The two-dimensional finite element method was used with 15-node plane strain model using the Plaxis 2D computer program. Each series was carried out to discover the influence of one parameter while the other parameters were kept unchanged. The varied parameters include the slope angle, height of the slope, and surcharge load on the top of the slope. All of the numerical analysis programs with various parameters are summarized in Figure 1 and Table 1.

In this study, the hardening soil model was used to model the nonlinear behavior of the soil. This constitutive model is one of the advanced soil models and is used to simulate various types of soil. The material properties of the loose and dense granular soils were taken from Plaxis 2D material model manual and are summarized in Table 2. The sufficiently fine mesh was used to reduce the effect of mesh dependence on numerical analysis results. Figure 2 displays the typical generated mesh for full-scale slope geometry and boundary conditions. The vertical boundaries of the model were supposed to be deformable vertically and fixed laterally, whereas the bottom boundary was assumed to be definitely fixed. In this study, it is assumed that the water table is located below the dense soil layer and this has no effect on the results of the analysis. Since the surface of the slope is not completely horizontal, therefore the first stress state of the slope was produced by employing the force of gravity and after that, the safety analysis was applied to determine the FS of the slope in each series. To decrease the percentage of error in the numerical analysis, in all the phases of calculation, the tolerated error was set equal to 0.001.

In Plaxis, the FS for the slope is calculated using phi-c reduction calculation type, which decreases the shear strength parameters of the soil, cohesion (c) and angle of internal friction ( $\theta$ ) in steps until the failure takes place in the soil body, as in the following equation 2:

$$\sum Msf = \frac{\tan \phi_{input}}{\tan \phi_{reduced}} = \frac{c_{input}}{c_{reduced}} \quad (2)$$



**Figure 1.** Geometric parameters studied in numerical analyses  
**Şekil 1.** Sayısal analizlerde çalışılan geometrik parametreler

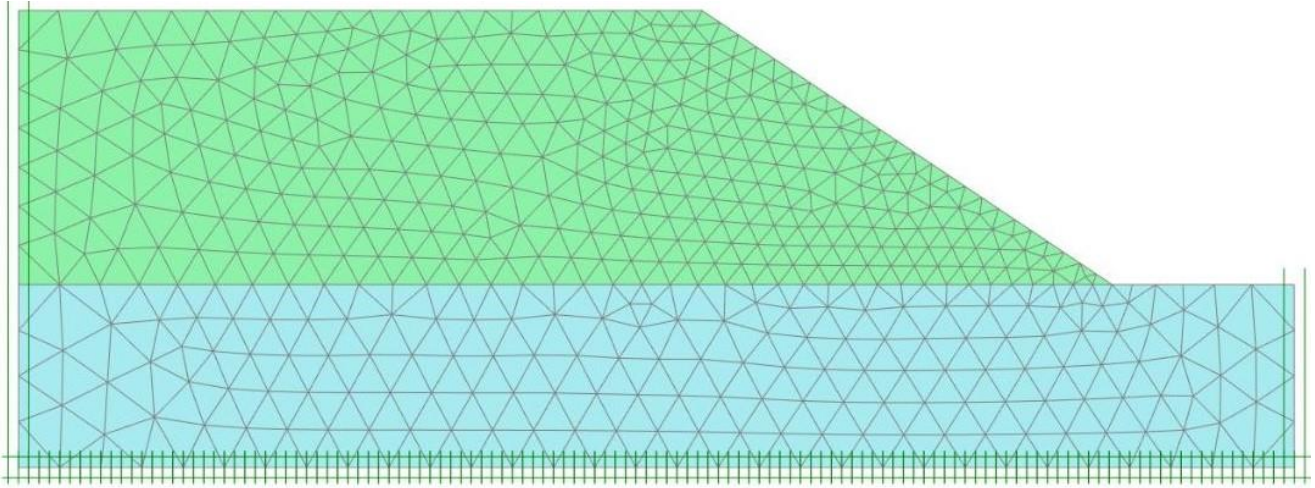
**Table 1.** Numerical analysis parameters  
**Tablo 1.** Sayısal analiz parametreleri

Series	Constant parameters	Variable parameters
1	Slope (1.25H:1V) $q = 0 \text{ kN/m}^2$	$H = 1, 2, 4, 6, 8, 10 \text{ (m)}$
2	Slope (1.50H:1V) $q = 0 \text{ kN/m}^2$	$H = 1, 2, 4, 6, 8, 10 \text{ (m)}$
3	Slope (2.0H:1V) $q = 0 \text{ kN/m}^2$	$H = 1, 2, 4, 6, 8, 10 \text{ (m)}$
4	Slope (2.5H:1V) $q = 0 \text{ kN/m}^2$	$H = 1, 2, 4, 6, 8, 10 \text{ (m)}$
5	Slope (3.0H:1V) $q = 0 \text{ kN/m}^2$	$H = 1, 2, 4, 6, 8, 10 \text{ (m)}$
6	Slope (3.5H:1V) $q = 0 \text{ kN/m}^2$	$H = 1, 2, 4, 6, 8, 10 \text{ (m)}$
7	Slope (1.25H:1V) $q = 10 \text{ kN/m}^2$	$H = 1, 2, 4, 6, 8, 10 \text{ (m)}$
8	Slope (1.50H:1V) $q = 10 \text{ kN/m}^2$	$H = 1, 2, 4, 6, 8, 10 \text{ (m)}$
9	Slope (2.0H:1V) $q = 10 \text{ kN/m}^2$	$H = 1, 2, 4, 6, 8, 10 \text{ (m)}$
10	Slope (2.5H:1V) $q = 10 \text{ kN/m}^2$	$H = 1, 2, 4, 6, 8, 10 \text{ (m)}$
11	Slope (3.0H:1V) $q = 10 \text{ kN/m}^2$	$H = 1, 2, 4, 6, 8, 10 \text{ (m)}$
12	Slope (3.5H:1V) $q = 10 \text{ kN/m}^2$	$H = 1, 2, 4, 6, 8, 10 \text{ (m)}$

**Table 2.** Parameters of the sand used in FEM analyses (Brinkgreve et al., 2016)  
**Tablo 2.** FEM analizlerinde kullanılan kumun parametreleri (Brinkgreve et al., 2016)

Parameters	Dense sand	Loose sand
Dry Unit Weight ( $\gamma_d$ ) (kN/m <sup>3</sup> )	17.50	17.00
$E_{50}^{ref}$ ( $P_{ref} = 100 \text{ kPa}$ ) (kN/m <sup>2</sup> )	37000	20000
$E_{ur}^{ref}$ ( $P_{ref} = 100 \text{ kPa}$ ) (kN/m <sup>2</sup> )	90000	60000
$E_{oed}^{ref}$ ( $P_{ref} = 100 \text{ kPa}$ ) (kN/m <sup>2</sup> )	29600	16000
Cohesion, (c) (kN/m <sup>2</sup> )	5.00	2.50
Friction angle, ( $\phi$ ) (°)	41.0	34.0
Dilatancy angle ( $\psi$ ) (°)	14.00	0.00
Poisson's ratio ( $\nu_{ur}$ )	0.20	0.20
$K_0^{nc}$	0.34	0.44
m, Power	0.50	0.65





**Figure 2.** Typical generated mesh for prototype slope geometry  
**Şekil 2.** Prototip şev geometrisi için tipik olarak oluşturulan ağ

### 3. Results and discussion

#### 3. Bulgular ve tartışma

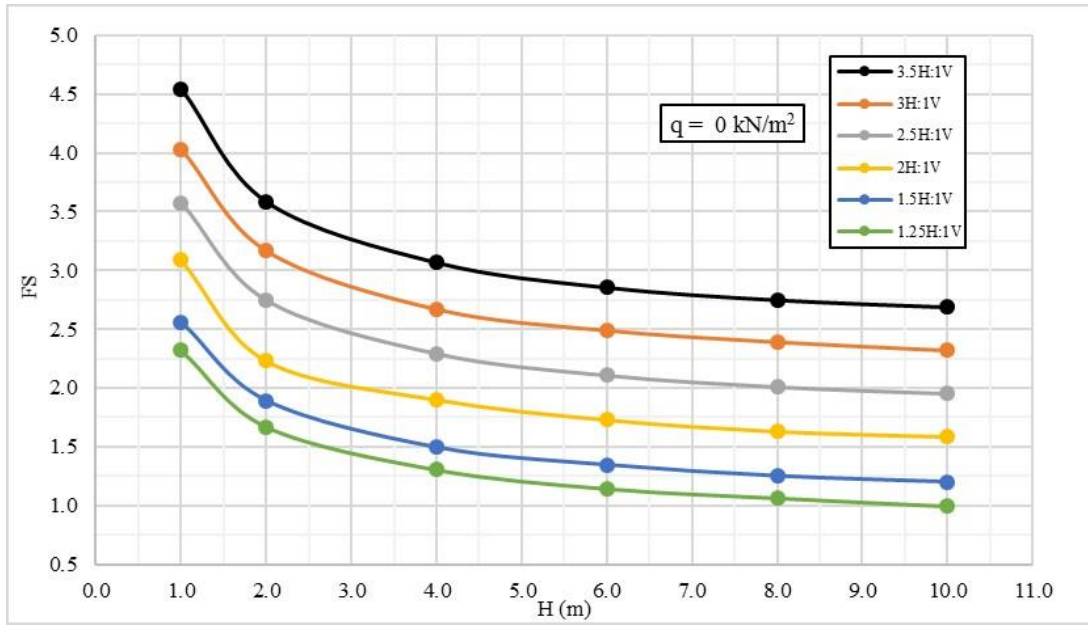
A total of seventy-two numerical analysis tests were conducted on the effect of slope angle and the height of the slope on the stability of loose granular soil slope underlying dense soil. The influence of slope height and angle was achieved and discussed.

#### 3.1. Effect of slope angle and height (with no surcharge load - $q = 0 \text{ kN/m}^2$ )

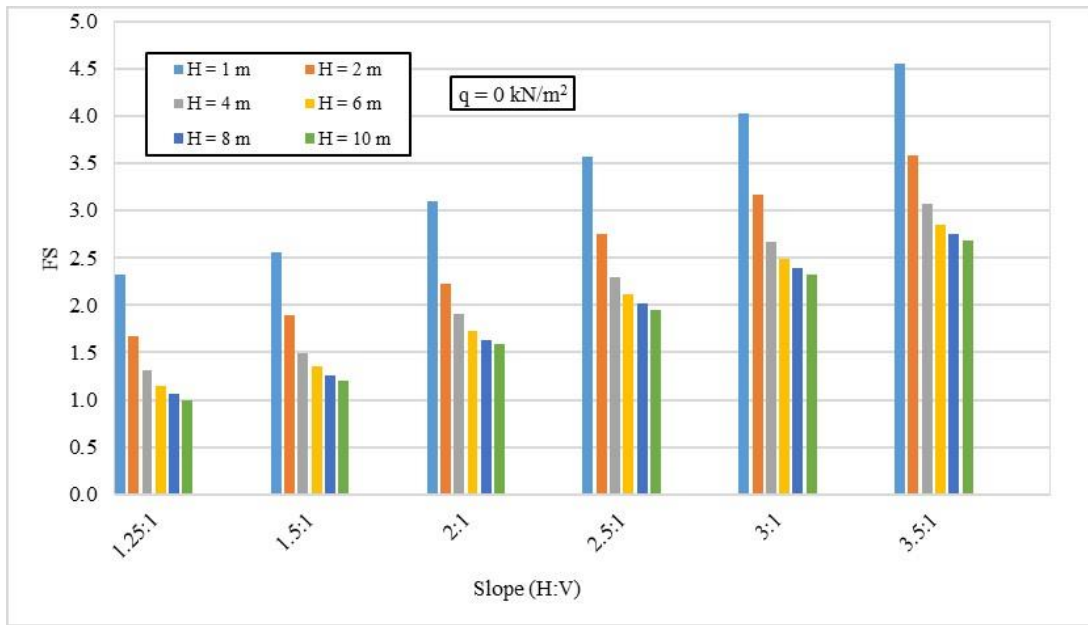
##### 3.1. Şev açısı ve yüksekliğinin etkisi (sürşarj yükü olmadan - $q = 0 \text{ kN/m}^2$ )

In order to determine the effect of slope angle and height on slope stability with zero surcharge load at the top of the slope, thirty-six numerical analysis tests were performed. Six slope angle geometries were studied and for each slope angle geometry, six different slope heights were also investigated. Figure 3 shows the change of FS of the slope with slope angle and height. It can be seen that with the steepest slope and the highest height, the FS is the minimum. Also, with the gentlest slope angle and the minimum height, the FS is the maximum. This

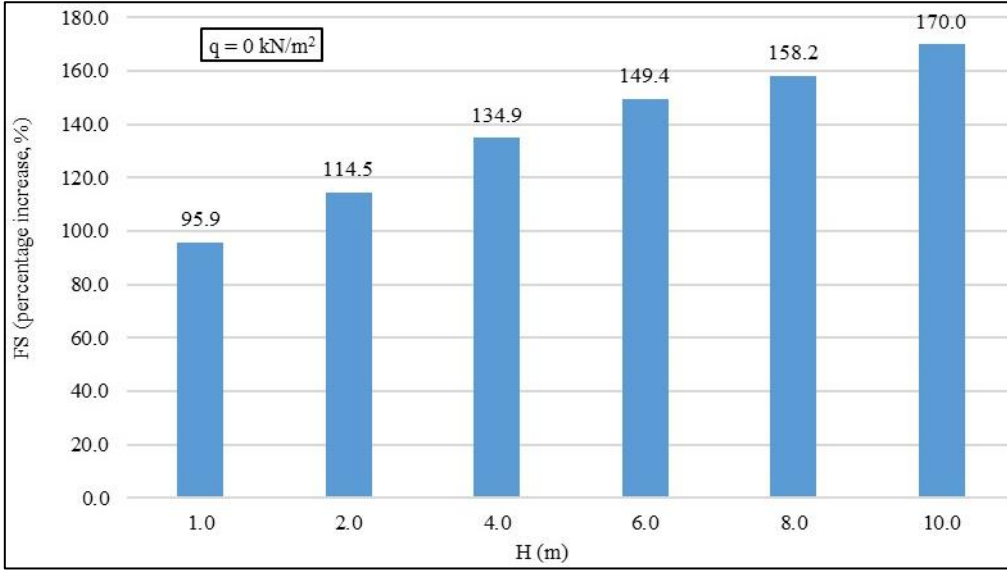
considerable influence of slope geometry on slope stability was also found in (Shiferaw, 2021). Since it can be said that the geometry of the slope has a considerable effect on the stability of the slope, therefore to avoid any slope failure, the geometry of the slope must be built in such a way that it can have a high safety factor. For a better understanding of how the angle and height of the slope affect the FS of the slope, a graphical representation using a histogram has been made, as shown in Figure 4. Figure 5 displays the percent increase in FS between the steepest and gentlest slopes for different heights. It can be seen that the FS increases greatly when the slope angle is changed from steepest (1.25H:1V) to the most gentle one (3.5:1V). It can be noticed that as the height of the slope increases, the percentage increase in FS also increases. According to the numerical analysis obtained in this study, most of the failure surface was circular and a little bit above the toe of the slope and classified as face slope failure, as shown in Figure 6. This is because the soil used in this study is loose granular soil and it easily collapses at the face of the slope.



**Figure 3.** Variation of FS of the slope with various slope angles and heights for  $q = 0 \text{ kN/m}^2$   
**Şekil 3.**  $q = 0 \text{ kN/m}^2$  için FS'nin çeşitli şev açıları ve yükseklikleri ile değişimi

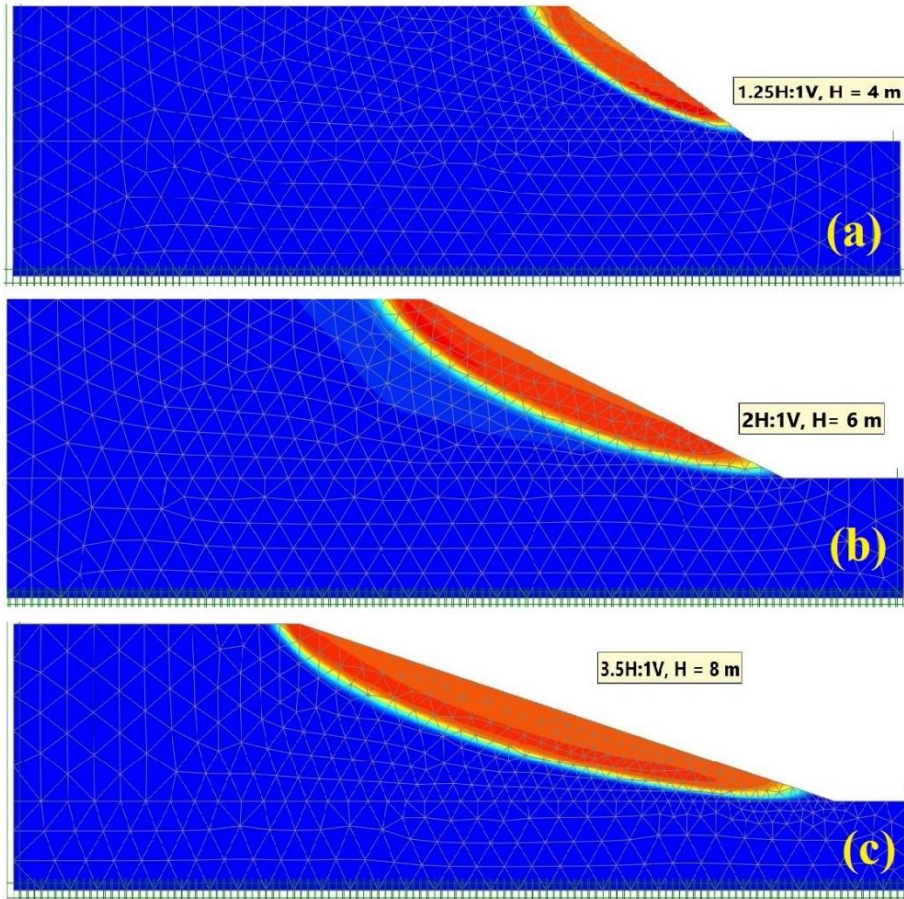


**Figure 4.** Graphical representation of the change in FS of the slope with the different angles and heights of the slope for  $q = 0 \text{ kN/m}^2$   
**Şekil 4.**  $q = 0 \text{ kN/m}^2$  için farklı şev açıları ve yükseklikleri ile FS değişiminin grafiksel gösterimi



**Figure 5.** Percentage of increase in FS between the steepest (1.25H:1V) and gentlest (3.5H:1V) slopes for  $q = 0 \text{ kN/m}^2$

**Şekil 5.**  $q = 0 \text{ kN/m}^2$  için en dik (1.25H:1V) ve en az eğimli (3.5H:1V) şevler arasında FS'deki artış yüzdesi



**Figure 6.** Typical failure of the slope surfaces obtained from a numerical analysis based on the strength reduction method

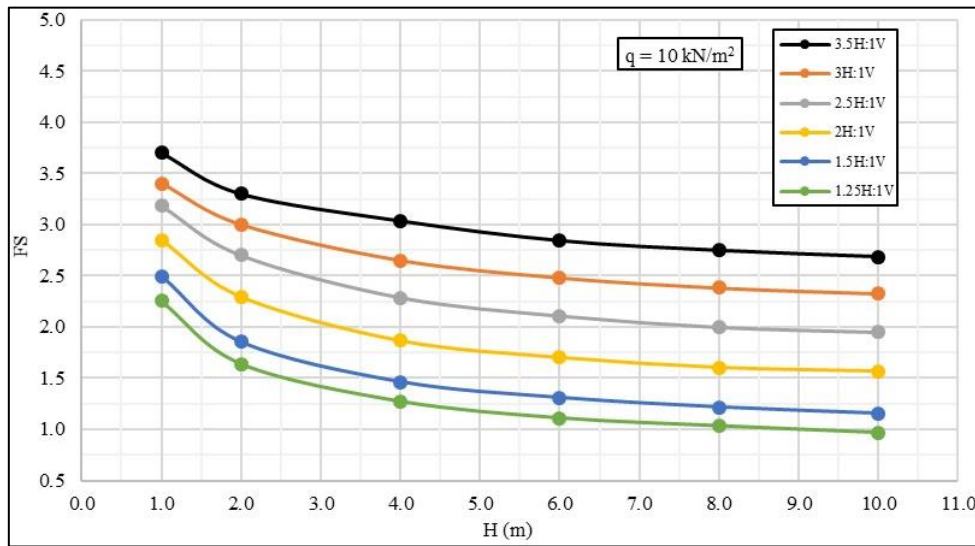
**Şekil 6.** Mukavemet azaltma yöntemine dayalı sayısal bir analizden elde edilen şev yüzeylerinin tipik yenilmesi

### 3.2. Effect of slope angle and height (with surcharge load - $q = 10 \text{ kN/m}^2$ )

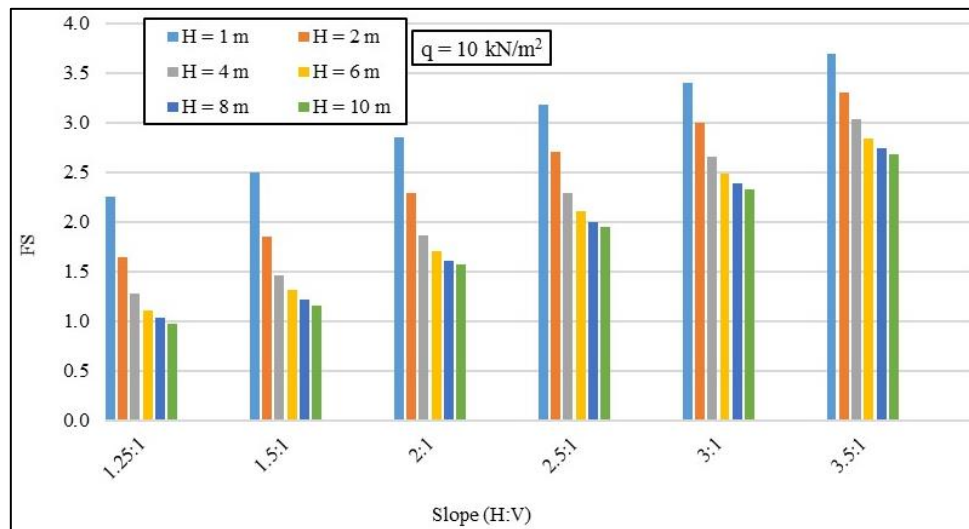
3.2. Şev açısı ve yüksekliğinin etkisi (sürşarj yükü olduğunda -  $q = 10 \text{ kN/m}^2$ )

To also study the effect of the surcharge load, it was also assumed that there is a surcharge load of  $10 \text{ kN/m}^2$  at the top of the slope and  $3.0 \text{ m}$  away from the crest of the slope. For this purpose, again six slope angle geometries were studied and for each slope angle geometry, six different slope heights were also investigated. Figure 7 shows the change of FS of the slope with various slope angles and heights. It can be seen that with an existing surcharge load at the top of the slope, the FS is decreased relative to the slope with zero surcharge load at the top. Just as for the slope condition with

no surcharge load, the steepest slope with the highest height, the FS is the minimum and the gentlest slope with the minimum height, the FS is the maximum. This indicates that the slope geometry has a great influence on slope stabilization in both situations with existing surcharge load and also with no surcharge load. Figure 8 illustrates the graphical chart which shows the change in FS of the slope with different slope geometry and with existing surcharge load. Figure 9 presents the percentage increase in FS between the steepest and gentlest slopes for different heights with existing surcharge load on the top of the slope. As in the case with no surcharge load, the FS increases greatly when the slope angle is changed from steepest ( $1.25\text{H}:1\text{V}$ ) to gentlest ( $3.5:1\text{V}$ ).



**Figure 7.** Variation of FS of the slope with various slope angles and heights for  $q = 10 \text{ kN/m}^2$   
 Şekil 7.  $q = 10 \text{ kN/m}^2$  için FS'nin çeşitli şev açıları ve yükseklikleri ile değişimi

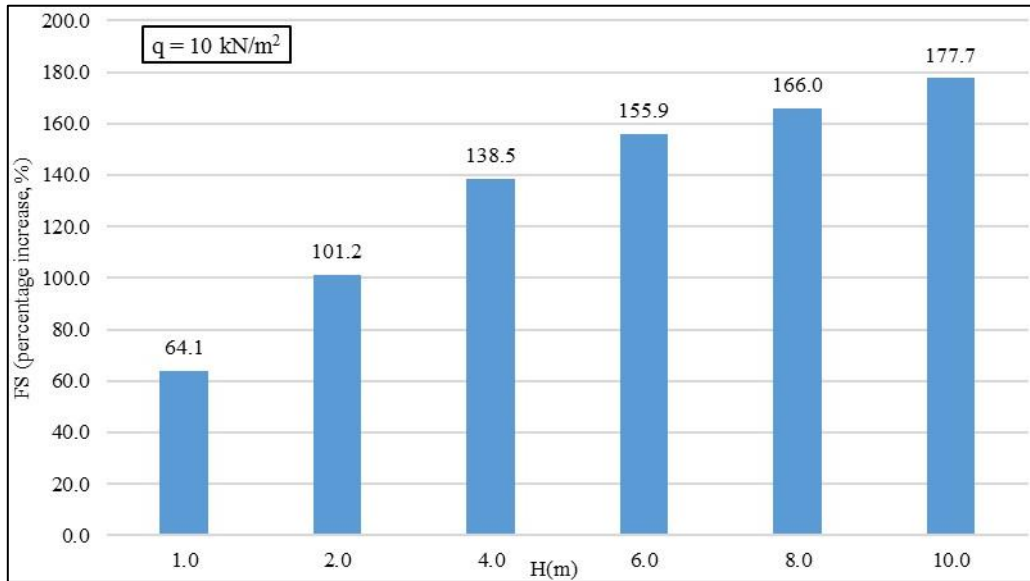


**Figure 8.** Graphical representation of the change in FS of the slope with the different angles and heights of the slope for  $q = 10 \text{ kN/m}^2$

Şekil 8.  $q = 10 \text{ kN/m}^2$  için farklı şev açıları ve yükseklikleri ile FS değişiminin grafiksel gösterimi

Huang (1983) recommended minimum FS for slopes under different conditions. Many design FS in slope stability analysis cannot be identified with precision. As a result, in a chosen design, a level of risk should be determined. The factor of safety

fulfills this requirement. The factor should take into account not only the uncertainties in design parameters but also the results of failure. A higher risk of failure or a lower factor of safety may be acceptable if the consequences of failure are minor.



**Figure 9.** Percentage of increase in FS between the steepest (1.25H:1V) and gentlest (3.5H:1V) slopes for  $q = 10 \text{ kN/m}^2$

**Şekil 9.**  $q = 10 \text{ kN/m}^2$  için en dik (1.25H:1V) ve en az eğimli (3.5H:1V) şevler arasında FS'deki artış yüzdesi

#### 4. Conclusion and recommendations

##### 4. Sonuçlar ve öneriler

In this study, the influence of slope angle ( $\beta$ ) and slope height (H) on the stability of loose granular soil slope resting on dense soil layer was studied. The studied parameters were slope angle, the height of the slope, and the existing surcharge load on the top of the slope. According to the numerical analysis results, the following conclusion can be drawn.

- According to the numerical analysis results, it was found that the slope angle ( $\beta$ ), the height of the slope (H), and existing the surcharge load (q) on the top of the slope have a great influence on the stability of the slope.
- As the height of the slope and slope angle increase, the FS of the slope decrease in both cases; slopes with and without surcharge load and vice versa.
- When the surcharge load exists at the top of the slope, the FS decreases for the same slope geometry compared to the same slope without surcharge load at the top of the slope.

- As the geometry of the slope changes from a steep slope to a gentler slope, the FS increases dramatically. for example, in the case without surcharge load, when the slope changes from (1.25H: 1V) with  $H = 10\text{m}$  to the slope (3.5H: 1V) with  $H = 10\text{m}$ , the percentage increase of FS is equal to 170.0%.
- The proposed curves and graphs in this study can be used to easily estimate the FS of loose granular soil.
- Based on the strength reduction methods, it was found that all slip failure surfaces were classified as face slope failure for loose granular soil slope.
- In this study, it was found that the minimum FS is one. However, when the FS is one, the slope is safe under certain conditions, but in some cases, it is not safe when the slope is subject to rainfall or an earthquake and especially when there is a danger to people's lives.

This study examines the effect of slope geometry on slope stabilization of loose granular soil underlying dense granular soil. Due to the importance of the study, the authors recommend

studying the influence of the slope geometry on the stabilization of the slope for the different types of soil and slope with stratified soils and with the existing water table.

#### Author contribution

Yazar katkısı

Nichirvan Ramadhan TAHER and Mesut GÖR: Methodology, Software, Data collection and/or processing, Data analysis and interpretation, Writing - original draft.

Hüseyin Suha AKSOY and Halmat Ahmed AWLLA: Literature search, Critical revision of manuscript, Writing - review & editing.

#### Declaration of ethical code

Etik beyanı

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

#### Conflicts of interest

Çıkar çatışması beyanı

The authors declare that there is no conflict of interest.

#### References

Kaynaklar

Akbaş, B. (2015). *Probabilistic slope stability analysis using limit equilibrium, finite element and random finite element methods* [Master's thesis, Middle East Technical University].

Aksoy, H. S., Edan, O. M., & Taher, N. R. (2021a). Shear strength parameters of sand reinforced with polypropylene fiber. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(4), 900-907. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.888613>

Aksoy, H. S., Taher, N. R., & Awlla, H. A. (2021b). Shear strength parameters of sand-tire chips mixtures. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(3), 713-720. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.865490>

Albataineh, N. (2006). Slope stability analysis using 2D and 3D methods [Doctoral dissertation, University of Akron].

Alemdag, S., Kaya, A., Karadag, M., Gurocak, Z., & 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>

Anvari, S. M., Shooshpasha, I., & Kutanaei, S. S. (2017). Effect of granulated rubber on shear strength of fine-grained sand. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(5), 936-944. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.03.008>

Awla, H. A. & Karaton, M. (2021). Full 3D modeling of soil structure interaction by using solid finite elements. *Journal of Engineering Research*. <https://doi.org/10.36909/jer.10683>

Awlla, H. A., Taher, N. R., & Mawlood, Y. I. (2020). Effect of fixed-base and soil structure interaction on the dynamic responses of steel structures. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(9), 6298-6305. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/223892020>

Azadmanesh, M., & Arafati, N. (2012). A comparison on slope stability analysis of aydoughmoosh earth dam by limit equilibrium, finite element and finite difference methods. *International Journal of Civil Engineering and Building Materials (ISSN 2223-487X)*, 2(3), 115-123.

Bolton, H., Heymann, G., & Groenwold, A. (2003). Global search for critical failure surface in slope stability analysis. *Engineering Optimization*, 35(1), 51-65. <https://doi.org/10.1080/0305215031000064749>

Boutrup, E., & Lovell, C. (1980). Searching techniques in slope stability analysis. *Engineering Geology*, 16(1-2), 51-61. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(80\)90006-X](https://doi.org/10.1016/0013-7952(80)90006-X)

Brinkgreve, R. B. J., Kumarswamy, S., Swolfs, W. M., Waterman, D., Chesaru, A., & Bonnier, P. G. (2016). *Plaxis 2016*. Plaxis bv, the Netherlands.

Cheng, Y. M. (2003). Location of critical failure surface and some further studies on slope stability analysis. *Computers and Geotechnics*, 30(3), 255-267. [https://doi.org/10.1016/S0266-352X\(03\)00012-0](https://doi.org/10.1016/S0266-352X(03)00012-0)

Dawson, E., Roth, W., & Drescher, A. (1999). Slope stability analysis by strength reduction. *Geotechnique*, 49(6), 835-840. <https://doi.org/10.1680/geot.1999.49.6.835>

Djilali, S., Touaoula, T. M., & Miri, S. E. H. (2017). A heroin epidemic model: very general non linear incidence, treat-age, and global stability. *Acta Applicandae Mathematicae*, 152, 171-194. <https://doi.org/10.1007/s10440-017-0117-2>

Goh, A. T. (1999). Genetic algorithm search for critical slip surface in multiple-wedge stability analysis.

- Canadian Geotechnical Journal*, 36(2), 382-391. <https://doi.org/10.1139/t98-110>
- Gör, M. (2021). Limit denge analizi (Bishop Yöntemi) ile kütle hareketinin mekanizması ve önlem yapısının analizi: Van ili örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2), 597-608. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.850560>
- Gör, M., Taher N. R., Aksoy H. S., & Awlla, H. A. (2022). *Effect of geogrid inclusion on the slope stability*. V-International European Conference on Interdisciplinary Scientific Research (pp. 275-286). Valencia, Spain.
- Griffiths, D., & Lane, P. (1999). Slope stability analysis by finite elements. *Geotechnique*, 49(3), 387-403. <https://doi.org/10.1680/geot.1999.49.3.387>
- Halder, A., Nandi, S., & Bandyopadhyay, K. (2020). *A comparative study on slope stability analysis by different approaches*. In *Geotechnical Characterization and Modelling* (pp. 285-293). Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-6086-6\\_23](https://doi.org/10.1007/978-981-15-6086-6_23)
- Huang, Y. H. (1983). *Stability analysis of earth slopes*. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Huvaj, N., & Oğuz, E. A. (2018). Probabilistic slope stability analysis: a case study. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(5), 1458-1465. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.430032>
- Kanik, M., & Ersoy, H., (2019). Evaluation of the engineering geological investigation of the Ayvali dam site (NE Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 12(3), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4243-1>
- Kaya, A., Alemdağ, S., Dağ, S., & 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>
- Keskin, İ., Ahmed, M. Y., Taher, N. R., Gör, M., & Abdulsamad, B. Z. (2022). An evaluation on effects of surface explosion on underground tunnel; availability of ABAQUS Finite element method. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 120, 104306. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104306>
- Khabbaz, H., Fatahi, B., & Nucifora, C. (2012). *Finite element methods against limit equilibrium approaches for slope stability analysis*. Australia New Zealand Conference on Geomechanics, Geomechanical Society and New Zealand Geotechnical Society.
- Li, W., Kwok, C. Y., & Senetakis, K. (2020). Effects of inclusion of granulated rubber tires on the mechanical behaviour of a compressive sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 57(5), 763-769. <https://doi.org/10.1139/cgj-2019-0112>
- Jha A.K., Madhav, M.R., & Reddy, G.V.N. (2018). Analysis of effect of reinforcement on stability of slopes and reinforcement length optimization. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 49(4).
- MoayedI, H., Tien Bui, D., Gör, M., Pradhan, B. & Jaafari, A. (2019). The feasibility of three prediction techniques of the artificial neural network, adaptive neuro-fuzzy inference system, and hybrid particle swarm optimization for assessing the safety factor of cohesive slopes. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(9), 391. <https://doi.org/10.3390/ijgi8090391>
- Pourkhosravani, A., & Kalantari, B. (2011). A review of current methods for slope stability evaluation. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 16, 1245-1254.
- Sharma, A., Raju, P. T., Sreedhar, V., & Mahiyar, H. (2019). *Slope stability analysis of steep-reinforced soil slopes using finite element method*. In *Geotechnical Applications* (pp. 163-171). Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0368-5\\_18](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0368-5_18)
- Shepherd, C. J., Vardanega, P. J., Holcombe, E. A., & Michaelides, K. (2017). *Analysis of design choices for a slope stability scenario in the humid tropics*. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability*, 171(1), (pp. 37-52). Thomas Telford Ltd. <https://doi.org/10.1680/jensu.16.00081>
- Shiferaw, H. M. (2021). Study on the influence of slope height and angle on the factor of safety and shape of failure of slopes based on strength reduction method of analysis. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 10(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s43088-021-00115-w>
- Siegel, R. A. (1975). *Computer analysis of general slope stability problems*. Purdue University Libraries. <https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2243&context=jtrp>
- Taşkıran, T., Yavuz, V. S., & Keskin, M. S. (2015). Şev stabilitesinin iki ve üç boyutlu modeller ile incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 6(1), 1-8.
- Tien Bui, D., MoayedI, H., Gör, M., Jaafari, A., & Foong, L. K. (2019). Predicting slope stability failure through machine learning paradigms. *ISPRS International Journal of Geo-*

*Information*, 8(9), 395.  
<https://doi.org/10.3390/ijgi8090395>

Yang, X. L., & Huang, F. (2009). Slope stability analysis considering joined influences of nonlinearity and dilation. *Journal of Central South University of Technology*, 16(2), 292-296.  
<https://doi.org/10.1007/s11771-009-0050-2>

Zolfaghari, A. R., Heath, A. C., & McCombie, P. F. (2005). Simple genetic algorithm search for critical non-circular failure surface in slope stability analysis. *Computers and Geotechnics*, 32(3), 139-152.  
<https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2005.02.001>



## Etanol, 1\_propanol ve 2\_propanol yapılarının su molekülü ile oluşturdukları dimer kümelerinin teorik incelenmesi

*Theoretical investigation of the dimer clusters formed by ethanol, 1\_propanol and 2\_propanol structures with water molecule*

**Zafer MAŞLAKCI\***<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Susurluk Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, 10600, Susurluk, Balıkesir

• Geliş tarihi / Received: 09.01.2022

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 20.03.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 22.03.2022

### Öz

Küçük alkoller olarak bilinen etanol, 1\_propanol ve 2\_propanol yapıları su molekülleri ile hidrojen bağı oluşturabilmektedirler. Etanol, 1\_propanol ve 2\_propanol yapılarının hidroksil grupları hem proton alıcı hem de proton verici olarak davranış göstermektedirler. Bu çalışmanın amacı, farklı dimer kümelerinde alkol yapılarının su molekülleri ile etkileşimi sonucu gelişen topolojik ve yapısal özellikleri incelemektir. QUICKSTEP (CP2K) paket programı ile BLYP seviyesinde ve QZV3P temel setinde optimizasyonları yapılmıştır. NCI teorisi ile birlikte iso-yüzeyleri belirlenmiş ve elektron yoğunlukları değişimleri incelenmiştir. Bu çalışma, belirli alkol-su dimer komplekslerinde, Ab initio hesaplamalarında daha zayıf hidrojen bağlarının uygun şekilde dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Etanol, Hidrojen bağı, Topolojik, 1\_propanol, 2\_propanol

### Abstract

Ethanol, 1\_propanol and 2\_propanol structures, known as small alcohols, can form hydrogen bonds with water molecules. The hydroxyl groups of the ethanol, 1\_propanol and 2\_propanol structures act as both proton acceptors and proton donors. The aim of this study is to examine the topological and structural properties that develop as a result of the interaction of alcohol structures with water molecules in different dimer clusters. Optimizations were made with the QUICKSTEP (CP2K) package program at the BLYP level and the QZV3P basis set. The iso-surfaces and electron densities changes are studied together with NCI theory. This study shows that in certain alcohol-water dimer complexes, weaker hydrogen bonds should be properly taken into account in Ab initio calculations.

**Keywords:** Ethanol, Hydrogen bonding, Topological, 1\_propanol, 2\_propanol

\*a Zafer MAŞLAKCI; zmaslakci@bandirma.edu.tr, Tel: (0536) 835 93 54, orcid.org/0000-0002-3661-8510

## 1. Giriş

### 1. Introduction

İki veya daha fazla molekülün bir araya gelmesiyle birlikte moleküler kümeler oluşmaktadır. Bu moleküler kümeler genellikle hidrojen bağı ya da zayıf Van der Waals etkileşimleri ile bağlanabilmektedir (Balci, 2007). Kimyasal, fiziksel ve biyolojik işlemlerde hidrojen bağları oldukça etkin bir öneme sahiptir. Hidrojen bağlarının ilk tanımlarından bu yana, ikinci bir "zayıf" hidrojen bağları sınıfı ortaya çıkmıştır. Yapısal olarak, tüm hidrojen bağları genellikle H'nin kısmi pozitif yük ve A'nın kısmi negatif yük taşıdığı X-HA etkileşimleri olarak tanımlanır. Zayıf hidrojen bağları, bu tanımlı diğerleri arasında C-H...O, O-Hp ve C-Hp etkileşimlerini içerecek şekilde genişletir. Van der Waals etkileşimlerine enerji bakımından benzer olmalarına rağmen, zayıf hidrojen bağları belirgin bir yön tercihinin korumaktadır. Yoğun faz kimyasında, bu zayıf etkileşimlerin ilaç-reseptör tanıma, moleküler kristalizasyon ve makromoleküler yapıda etkili olduğu gösterilmiştir (Arunan vd., 2011). Birçok deneysel ve teorik çalışmalar doğrudan hidrojen bağı anlamaya yönelik olmakla birlikte, araştırmacılara aktif bir çalışma alanı da sunmaktadır (Sum & Sandler, 2000). Scheiner, (1997) hidrojen bağlarının yapısal olarak uygunluğu ve reaksiyon katalizi ile ilgili birçok teorik ve deneysel araştırmalar yapıldığını ve bunların genellikle F, N ve O içeren hidrojen bağları ile sınırlandırıldığını bildirmiştir. Desiraju and Steiner, (1999) zayıf hidrojen bağlarının ise biyolojik makromoleküller için oldukça önemli olduğunu açıklamışlardır.

Alkol-su karışımları fizik, kimya ve biyolojide büyük ilgi gören özellikler sergileyen çok önemli sistemlerdir. Bunlar, çeşitli termodinamik ve fizikokimyasal özellikleri içerir (Franks & Ives, 1966; Franks & Desnoyers, 1985; Curtiss & Blander, 1988). Örneğin, alkol ve su karışımı, beklenenden daha küçük bir entropi değeri sergiler (Franks & Desnoyers, 1985; Dixit vd., 2002; Guo vd., 2003). Bu ilgi çekici yönlerin bir çoğu, hem suyun hem de alkolün hidrojen bağları yapma konusundaki büyük yeteneğinin sonucudur. Alkol-su sistemleri, alkolün bir proton alıcısı, RHO-H<sub>2</sub>O veya bir proton vericisi, ROH-OH<sub>2</sub> olduğu iki olası heterodimere (veya izomerlere) karşılık gelen iki hidrojen bağına sahiptirler. Bu iki izomerin varlığını anlamak çok kolayken, iki olası konformasyonunun göreceli gücünü tespit etmek oldukça zordur. Bu nedenle, heterodimerlerin bağıl bağlanma enerjilerinin teorik olarak belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalara oldukça büyük ilgi

vardır. Birkaç teorik model kullanarak bazı alkol-su komplekslerinin yapısı ve bağlanma enerjisinin incelenmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Bakkas vd., 1993; Masella & Flament, 1998).

Alkollü su eklentileri, iki alt birimi birbirine bağlayan nispeten güçlü bir O-H...O hidrojen bağı ile karakterize edilir. Bu alkol-su yapıları, alkil protonları ve su oksijeni arasındaki daha zayıf tamamlayıcı hidrojen bağları ile daha da stabilize edilebilir. (Trans)etanol-su dimerinin potansiyel enerji yüzeyi, bilgisayar simülasyonlarına uygun bir potansiyel fonksiyonu elde etmek için minimal bir temel seti kullanan ab initio kuantum mekaniksel hesaplamaları ile araştırılmıştır (Alagona & Tani, 1981). Hidrojen bağlanma enerjileri, 1:1 etanol ve su komplekslerinin farklı izomerleri için suyun proton verici olduğu durumdaki davranışı ab initio yöntemleri kullanılarak incelenmiştir (Fileti vd., 2004). Ayrıca hem deneysel hem de teorik olarak etanol-su ve propanol-su sistemleri ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır (Peeters & Huyskens, 1993). O-H bağı uzunlukları, bağlanma enerjileri ve hidrojen bağı özellikleri farklı yöntemler kullanılarak etanol-su dimeri için çalışılmıştır (Masella & Flament, 1998). Alifatik alkol serilerinden olan etanol-su, 1-propanol-su ve 2-propanol-su sistemleri için klasik Drude osilatörüne dayalı polarize edilebilir bir ampirik kuvvet alanı geliştirilmiştir. Böylelikle yoğun faz özelliklerine vurgu yapılarak sistemler optimize edilmiş ve çeşitli deneysel verilere karşı doğrulama yapılmıştır (Anisimov vd., 2007). İzole edilmiş etanol-su dimerinin temel durumunun ilk rotasyonel spektrumunu, Fourier dönüşümü mikrodalga spektroskopisi kullanılarak incelenmiştir. Ab initio hesaplamaları yardımıyla etanolün gauche konformasyonunda olduğu bulunurken, monomer mesafeleri ve yönelimleri, ölçülen konformer stabilize eden güçlü (O-H...O) ve zayıf (C-H...O) hidrojen bağı durumları arasındaki ilişkiler incelenmiştir (Finneran vd., 2015). Etanol molekülünün trans ve gauche olmak üzere iki şekilde var olduğu bilinmektedir. Etanol-su dimeri, hem güçlü bir O-H...O hidrojen bağı hem de zayıf bir C-H...O hidrojen bağı sergilediğinden dolayı hidrojen bağı için mükemmel bir model sistemdir.

Juurinen vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada su-etanol ve etanol-su durumunda, etanolün hem trans hem de gauche konfigürasyonları incelenmiştir. Ayrıca, yoğunlaştırılmış fazda, geniş uygulamaları ve anormal davranışları nedeniyle etanol-su karışımları kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu çalışma sayesinde

mikroskobik ölçekte eksik karıştırılmadan kaynaklandığına inanılan, negatif bir karıştırma entropisi gibi birçok termodinamik anormallik sergileyen çalışmaları ve etanol-su kümelerinin, özellikle dimerin hidrojen bağının yapısını ve dinamiklerini aydınlatmak için faydalı olabilir. Ayrıca su-propanol gibi daha büyük alifatik alkollere sahip su eklentilerinin rotasyonel spektrumları üzerine ek çalışmalar, bu tür kümelerdeki hidrofobik ve hidrofilik etkileşimler arasındaki etkileşimi anlamaya yardımcı olacaktır. İzo-propanol ve su arasındaki moleküler kompleks, Fourier transform mikrodalga spektroskopisi ile araştırılmış ve alkil protonları arasındaki ikincil zayıf hidrojen bağı etkileşimlerinin de dengeleyici bir rol oynadığı görülmüştür (Evangelisti vd., 2017).

Bu çalışmada, literatürden farklı olarak katı fazda su, etanolden, 1\_propanolden ve 2\_propanolden elde edilen 1:1 kompleks kümelerinin değişimi incelenmiştir. Birden fazla molekülün bir araya gelmesi ile oluşan moleküler kümelerin hareketleri katı ve sıvı fazlarda birbirlerinden farklıdır. Bu bağlamda belirtilen alkol moleküllerin su molekülü ile olan dimer etkileşimleri ab initio moleküler dinamik hesaplamalar ile incelenmiştir.

## 2. Materyal ve metod

### 2. Material and method

Etanol ( $C_2H_6O$ ), 1\_propanol ve 2\_propanol ( $C_3H_8O$ ) yapılarının su molekülü ( $H_2O$ ) ile oluşturdukları dimer kümelerinin optimizasyonları QUICKSTEP (Krack vd., 2005) CP2K paket programı ile yapılmıştır. Dimer kümelerinde su

molekülünün pozisyonları dikkate alınarak çeşitli başlangıç konfigürasyonları oluşturulmuştur. Buna bağlı olarak geometri optimizasyonları BLYP seviyesinde ve QZV3P temel seti kullanılarak yapılmıştır. Burada mol sayısı, hacim ve enerji değişiminden izole halde olarak, sabit enerji (NVE) simülasyonu yapılmıştır.

NCIPLOT, küçük dimerlerinden büyük biyomoleküllere kadar geniş bir aralıkta molekül içi ve molekül arası kovalent olmayan etkileşimlerin (hidrojen bağları,  $\pi$ - $\pi$  etkileşimleri gibi) grafiksel olarak görselleştirilmesine ve hesaplamasına olanak sağlayan bir programdır (Johnson vd., 2010). Bu sistemler için NCI teorisi de uygulanmış, elektron yoğunluklarının değişim aralığı incelenmiş ve iso-yüzeyleri gösterilerek etkileşimlerin davranışları incelenmiştir.

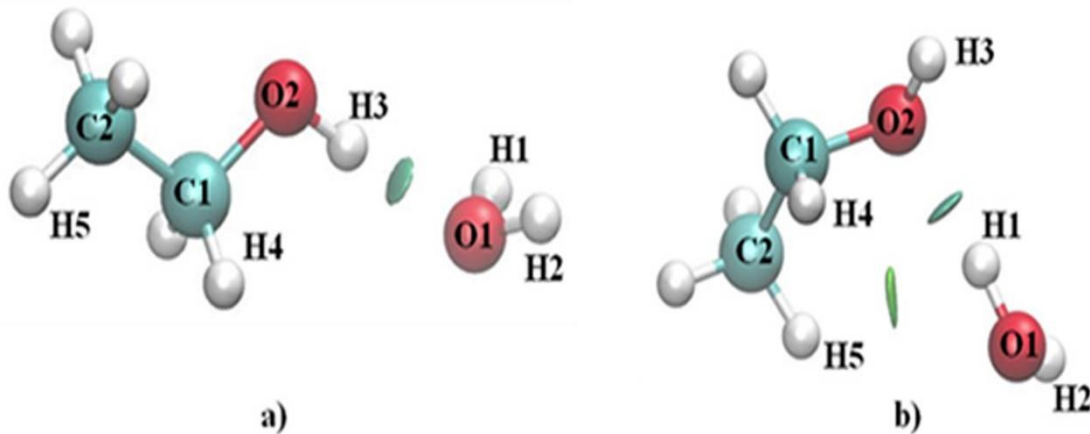
## 3. Bulgular ve tartışma

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Etanol ( $C_2H_6O$ ) – Su ( $H_2O$ ) dimer yapısının ab initio moleküler dinamik sonuçları

##### 3.1. Ab initio molecular dynamics results of ethanol ( $C_2H_6O$ ) – Water ( $H_2O$ ) dimer structure

Etanol-su dimer yapısı için çeşitli başlangıç konfigürasyonları oluşturulmuştur ve iki tane kararlı yapı bulunmuştur. Bu yapılar BLYP seviyesinde QZV3P temel seti ile optimizasyonları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen yapıların NCI iso-yüzeyleri Şekil 1’de verilmiştir (RDG=0.5 a.u. ve  $-0.1 < \text{işaret}(\lambda_2)\rho < 0.1$  a.u.’dan mavi-yeşil-kırmızı renk skalasında).



**Şekil 1.** Quickstep ile optimize edilmiş etanolün-su dimer yapıları. (a) Etanolün hidrojen atomu (H3) ile suyun oksijen atomu (O1) arasındaki etkileşim. (b) Etanolün oksijen atomu (O2) ile suyun hidrojen atomu (H1) arasındaki etkileşim.

**Figure 1.** Ethanol-water dimer structures optimized with Quickstep. (a) Interaction between the hydrogen atom (H3) of ethanol and the oxygen atom (O1) of water. (b) Interaction between the oxygen atom (O2) of ethanol and the hydrogen atom (H1) of water.

Etanol-su dimer yapılarında etanolün kümelerdeki davranışına göre iki farklı şekilde analiz edilmiştir. Bunlardan biri etanol molekülündeki hidrojen atomu (H3) ile suyun oksijen atomunun (O1) etkileşmesi sonucu oluşan dimer ile etkileşime girmesidir (Şekil 1a). Bir diğeri ise etanol molekülünün oksijen atomunun (O2) su molekülünün hidrojen atomu (H1) ile etkileşime

girmesi sonucu oluşan dimer yapısıdır (Şekil 1b). Etanol-su dimerleri için önemli bağ uzunlukları BLYP/QZV3P seviyesinde hesaplanmıştır ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Kuantum mekaniksel olarak optimize edildiklerinde (Fileti vd., 2004) bu yapıların QUICKSTEP ile optimize edilmiş yapılarla aynı oldukları görülmüştür.

**Tablo 1.** Şekil 1’de verilen etanol-su kümelerinin moleküler dinamik simülasyonu sonucunda elde edilen bağ uzunlukları (r, Å)

**Table 1.** The bond lengths (r, Å) obtained as a result of the molecular dynamics simulation of the ethanol-water clusters given in Figure 1

Uzunluk	Monomer	Şekil 1a	Şekil 1b
r(O1...H3)	-	1.963	-
r(O2...H1)	-	-	1.896
r(O1-H1)	-	0.975	0.966
r(O1-H2)	-	0.975	0.973
r(O2-H3)	0.974	0.981	0.975
r(O2-C1)	1.458	1.449	1.471
r(C1-H4)	1.105	1.106	1.102
r(C1-C2)	1.526	1.528	1.524
r(C2-H5)	-	1.100	1.098

Bu dimer yapıları için iki hidrojen bağı etkileşimi gözlenmiştir. Şekil 1a’da O1...H3, Şekil 1b’de ise O2...H1 atomları arasında hidrojen bağları oluşturulmuş ve bağ uzunlukları sırasıyla 1.96 Å ve 1.89 Å olarak hesaplanmıştır. MP2/aug-cc-pVDZ seviyesinde ise bu bağların uzunlukları sırasıyla 1.951 ve 1.900 Å’dur (Fileti vd., 2004). Benzer uyum MP2/aug-cc-pVDZ seviyesinde de gözlenmiştir. Etanol molekülündeki -OH grubunun yönlenmesi nedeniyle Şekil 1a’daki hidrojen bağı Şekil 1b’den daha zayıftır. Diğer yandan dimer yapısında O2-H3 bağ uzunluğu etanol monomer yapısına göre Şekil 1a’da 0.01 artmıştır. Şekil 1b’de ise aynı kalmıştır. O2-C1 bağ uzunluğunda ise Şekil 1b’de 0.02 artmış, Şekil 1a’da ise herhangi bir değişme olmamıştır. Etanol-su dimeri, hem güçlü bir O-H...O hidrojen bağı hem de zayıf bir C-H...O hidrojen bağı sergilemektedir (Finneran vd., 2015). Bu durum etanol monomerinin iki farklı konformasyonundan kaynaklanmaktadır. Böylece, dimerin MP2/aug-cc-pVDZ seviyesinde yapılan hesaplamalarda da su ve etanolün nispi verici-alıcı güçleri ile etanol monomerinin gauche-trans konformasyonları arasında bir etkileşim olduğu belirtilmiştir (Fileti vd., 2004). Etanol ve su arasındaki hidrojen bağı, yapıların bağıl enerjilerine en büyük katkıyı sağlar.

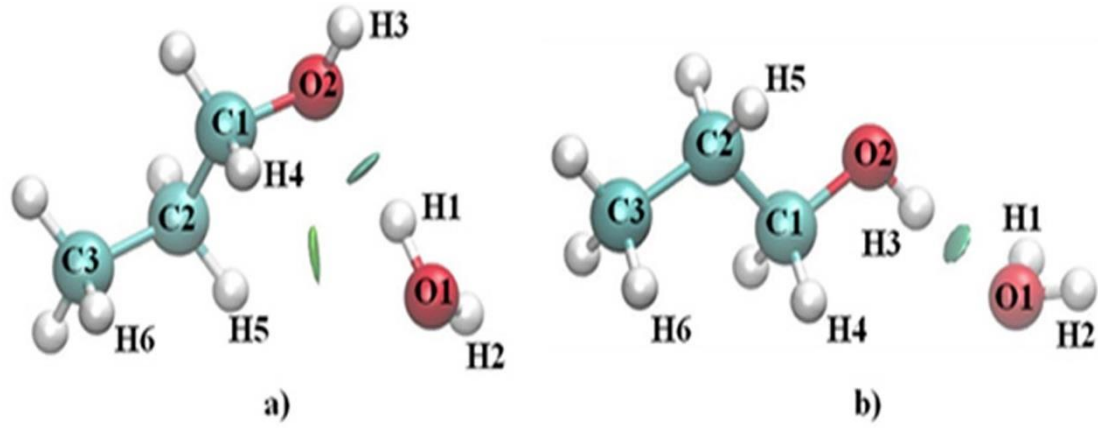
Etanol, vericiden ziyade daha iyi bir hidrojen bağı alıcısı olduğundan dolayı su veren yapıların enerjisi, su alıcı yapılardan daha düşüktür (Masella & Flament, 1998; Finneran vd., 2015).

### 3.2. 1\_Propanol (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O) – su (H<sub>2</sub>O) dimer yapısının ab initio moleküler dinamik sonuçları

3.2. Ab initio molecular dynamics results of 1\_propanol (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O) – water (H<sub>2</sub>O) dimer structure

Su-propanol gibi daha büyük alifatik alkollere sahip su eklentilerine ilişkin ek çalışmalar, bu tür kümelerdeki hidrofobik ve hidrofilik etkileşimler arasındaki etkileşimi anlamaya yardımcı olacaktır. Burada 1\_propanol ve 2\_propanol monomerinin su molekülü ile oluşturduğu konformasyonel dengeye sahip bir dimer etkileşimi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

1\_propanol yapısının su molekülü ile farklı başlangıç konfigürasyonlarına sahip iki tane yapı oluşturulmuştur. Geometrik optimizasyonları sonucu elde edilen yapılar Şekil 2’de (NCI isozüyeyle) verilmiştir.



**Şekil 2.** Quickstep ile optimize edilmiş 1\_propanol-su dimer yapıları. (a) 1\_propanolün oksijen atomu (O2) ile suyun hidrojen atomu (H1) arasındaki etkileşim. (b) 1\_propanolün hidrojen atomu (H3) ile suyun oksijen atomu (O1) arasındaki etkileşim.

**Figure 2.** 1\_propanol-water dimer structures optimized with Quickstep. (a) Interaction between the oxygen atom (O2) of 1\_propanol and the hydrogen atom (H1) of water. (b) Interaction between the hydrogen atom (H3) of 1\_propanol and the oxygen atom (O1) of water.

1\_propanol-su dimer yapılarında 1\_propanol molekülünde hidrojen atomunun bağlanma konumuna göre iki farklı şekilde analiz edilmiştir. 1\_propanol molekülünün oksijen atomunun (O2) su molekülünün hidrojen atomu (H1) ile etkileşmesi ile oluşan ve Şekil 2a'da verilen farklı

bir 1\_propanol-su dimerdir. Bir diğeri ise 1\_propanol molekülünün hidrojen atomu ile (H3) su molekülünün oksijen atomu (O1) arasındaki etkileşimden oluşan Şekil 2b'deki 1\_propanol-su dimer yapısıdır. 1\_propanol-su dimerleri için önemli bağ uzunlukları Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Şekil 2'de verilen 1\_propanol-su kümelerinin moleküler dinamik simülasyonu sonucunda elde edilen bağ uzunlukları (r, Å)

**Table 2.** The bond lengths (r, Å) obtained as a result of the molecular dynamics simulation of the 1\_propanol-water clusters given in Figure 2

Uzunluk	Monomer	Şekil 2a	Şekil 2b
r(O2...H1)	-	1.893	-
r(O1...H3)	-	-	1.961
r(O1-H1)	-	0.986	0.975
r(O1-H2)	-	0.973	0.975
r(O2-H3)	0.970	0.974	0.981
r(O2-C1)	1.440	1.470	1.447
r(C1-H4)	1.107	1.103	1.107
r(C1-C2)	1.525	1.528	1.532
r(C2-H5)	1.102	1.099	1.101
r(C2-C3)	1.536	1.543	1.542
r(C3-H6)	1.098	1.099	1.100

Bu dimer yapıları için iki hidrojen bağı etkileşimi gözlemlendi. Şekil 2a'da O2...H1, Şekil 2b'de ise O1...H3 atomları arasında hidrojen bağları oluşturulmuş ve bağ uzunlukları sırasıyla 1.89 Å ve 1.96 Å olarak hesaplanmıştır. 1\_propanol molekülündeki -OH grubunun yönlenmesi nedeniyle Şekil 2b'deki hidrojen bağı Şekil 2a'dan daha zayıftır. 1\_propanol monomer yapısına göre dimerde O2-H3 bağ uzunluğu Şekil 2b'de 0.01 artarken, Şekil 2a'da değişme olmamıştır. O2-C1 bağ uzunluğu dimer yapısında monomere göre

Şekil 2a'da 0.03 artmıştır. Şekil 2b'de bağ uzunluğunda bir değişim olmamıştır.

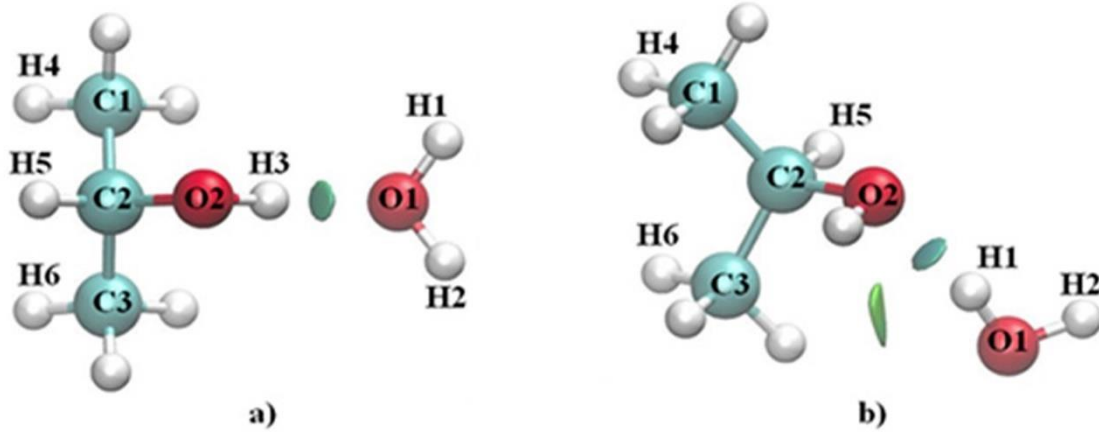
### 3.3. 2\_Propanol (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O) – su (H<sub>2</sub>O) dimer yapısının ab initio moleküler dinamik sonuçları

#### 3.3. Ab initio molecular dynamics results of 2\_propanol (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O) – water (H<sub>2</sub>O) dimer structure

2\_propanol yapısının su molekülü için farklı başlangıç konfigürasyonlarına sahip iki tane yapı

oluşturulmuştur. Geometrik optimizasyonları sonucu elde edilen yapılar Şekil 3'te (NCI iso-yüzeyleri şeklinde) verilmiştir. MP2/ 6-

311++G(d,p) seviyesinden optimize edilen yapılar (Evangelisti vd., 2017), Şekil 3a-b deki yapılarla benzerdir.



**Şekil 3.** Quickstep ile optimize edilmiş 2\_propanol-su dimer yapıları. (a) 2\_propanolün hidrojen atomu (H3) ile suyun oksijen atomu (O1) arasındaki etkileşim. (b) 2\_propanolün oksijen atomu (O2) ile suyun hidrojen atomu (H1) arasındaki etkileşim.

**Figure 3.** 2\_propanol-water dimer structures optimized with Quickstep. (a) Interaction between the hydrogen atom (H3) of 2\_propanol and the oxygen atom (O1) of water. (b) Interaction between the oxygen atom (O2) of 2\_propanol and the hydrogen atom (H1) of water.

2\_propanol-su dimerinde, 2\_propanol molekülünün hidrojen atomunun (H3) su molekülünün oksijen atomu (O1) ile etkileşmesi ile oluşan ve Şekil 3a'da verilen bir dimer yapısı oluşturulmuştur. Bir diğeri ise 2\_propanol

molekülünün oksijen atomu ile (O2) su molekülünün hidrojen atomu (H1) arasındaki etkileşimden oluşan Şekil 3b'deki dimer yapısıdır. 2\_propanol-su dimerleri için önemli bağ uzunlukları Tablo 3'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Şekil 3'te verilen 2\_propanol-su kümelerinin moleküler dinamik simülasyonu sonucunda elde edilen bağ uzunlukları (r, Å)

**Table 3.** The bond lengths (r, Å) obtained as a result of the molecular dynamics simulation of the 2\_propanol-water clusters given in Figure 3

Uzunluk	Monomer	Şekil 3a	Şekil 3b
r(O1...H3)	-	1.974	-
r(O2...H1)	-	-	1.875
r(O1-H1)	-	0.975	0.987
r(O1-H2)	-	0.975	0.973
r(O2-H3)	0.976	0.982	0.976
r(O2-C2)	1.461	1.453	1.476
r(C2-H5)	1.101	1.101	1.099
r(C1-C2)	1.537	1.540	1.534
r(C1-H4)	1.100	1.100	1.101
r(C2-C3)	1.537	1.540	1.535
r(C3-H6)	1.102	1.101	1.099

Bu dimer yapıları için iki hidrojen bağı etkileşimi gözlemlendi. Şekil 3a'da O1...H3, Şekil 3b'de ise O2...H1 atomları arasında hidrojen bağları oluşturulmuş ve bağ uzunlukları sırasıyla 1.97 Å ve 1.87 Å olarak hesaplanmıştır. MP2/6-311++G(d,p) seviyesindeki hesaplamalarda ise Şekil 3b için hidrojen bağ uzunluğu 1.89 Å bulunmuştur (Evangelisti vd., 2017). Şekil 3a'daki hidrojen bağı

Şekil 3b'den daha zayıftır. 2\_propanol monomer yapısı için dimer yapısına göre O2-H3 bağ uzunluğu Şekil 3a'da 0.01 artmıştır.

Daha basit alifatik alkol eklentileri için görüldüğü gibi, suyun bir proton donörü gibi davrandığı kompleksler daha karardır ve etanol-su dimerinde olduğu gibi, alkolün gauche konformasyonu tercih

edilmektedir. Bu çalışma, alifatik alkollerin, bu tür önceki araştırmalarda gözlemlendiği gibi, su ile komplekslerinde bir proton alıcı rolü oynama eğilimini doğrulamaktadır. Alkil protonları arasındaki ikincil zayıf hidrojen bağı etkileşimlerinin de dengeleyici bir rol oynadığı görülmektedir (Evangelisti vd., 2017).

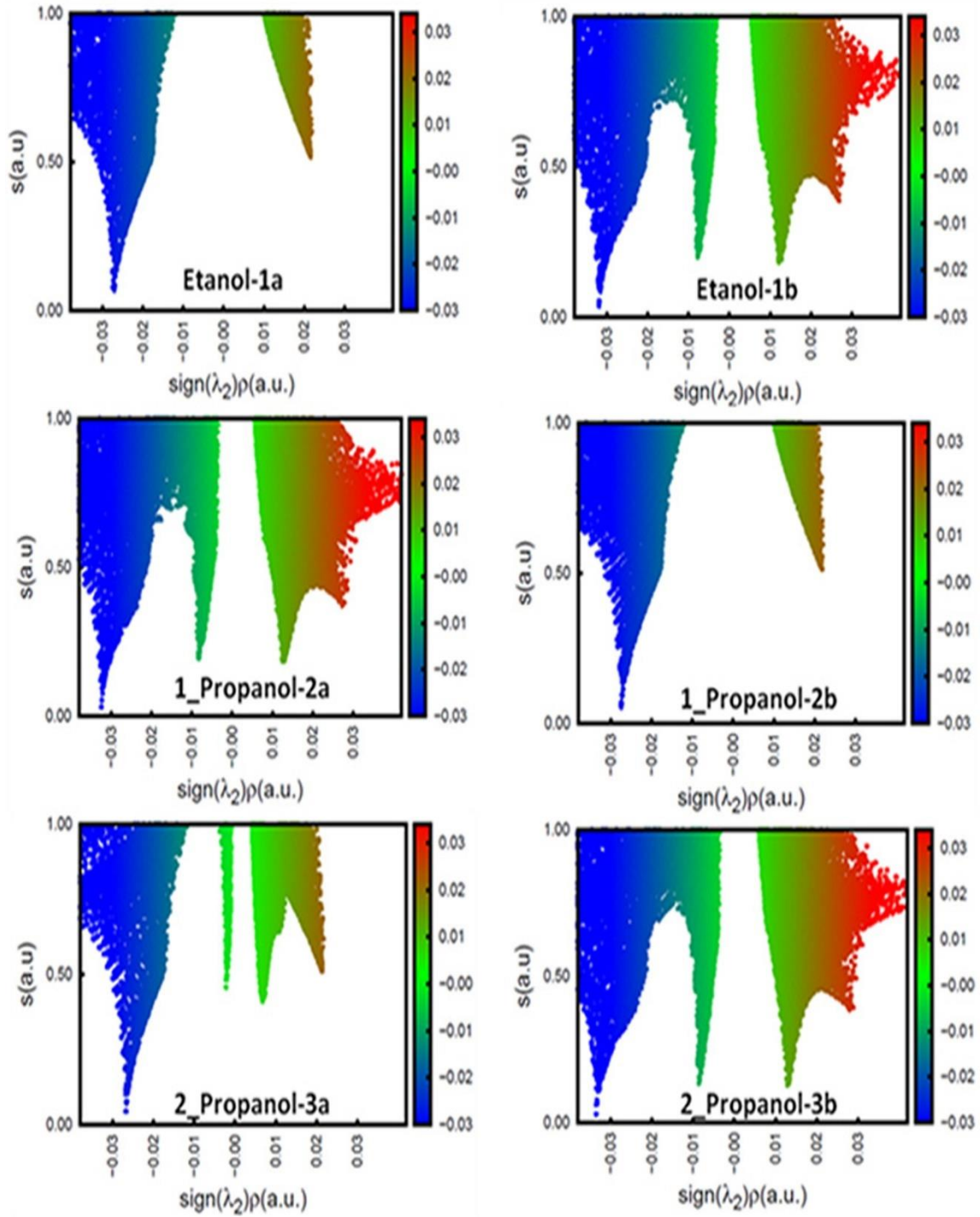
### 3.4. Topolojik analiz sonuçları

#### 3.4. Results of topological analysis

Kovalent olmayan etkileşimlere moleküler bir bakış açısı kazandırmak için farklı prosedürler uygulanabilmektedir. Bunların çoğu, etkileşen türler arasındaki elektron yoğunluğunun analizine dayanmaktadır.  $\rho$  elektron yoğunluğu ve  $\lambda_2$ ,  $\rho$ 'nın Hessian matrisinin ikinci öz değeri olduğu işaret ( $\lambda_2$ ) $\rho(r)$  değerlerine karşılık gelen NCI analizinin renk bazlı eş yüzeyleri, geniş bölgeler olarak bir resim vermektedir.  $\lambda_2$  işaretinin analizi ile kovalent olmayan etkileşimlerinin farklı türleri arasında ayırt etme imkanı sağlar. Eğim iso-yüzeyler  $\text{sign}(\lambda_2)\rho$  nin hesaplanan değerlere göre etkileşim gücünün iyi bir göstere olduğu bulunmuştur.  $\text{sign}(\lambda_2)\rho$  nin büyük negatif değerleri çekici etkileşimlerin göstergesi (hidrojen bağı veya dipol-dipol gibi) iken büyük pozitif değerleri ise bağlanmamış etkileşimleri göstermektedir. Sıfıra yakın değerler ise çok zayıf van der Waals etkileşimleri göstermektedir. Moleküller arası hidrojen bağı etkileşimleri bu çalışmada NCI teorileri kullanılarak analiz edildi. Etanol, 1\_propanol ve 2\_propanol dimerlerinin NCI iso-yüzeyleri her dimer için moleküller arası hidrojen bağlarının doğasını göstermektedir (Şekil 1-3). Elde edilen şekillere bakıldığında etkileşim yüzeylerinin genelde renginin yeşilden maviye

doğru kayan bir değişim içerisinde olduğu görülmektedir.

Şekil 4'te alkol yapılarının elektron yoğunlukları aralığının değişim grafiği verilmiştir. Şekil 4'te gösterilen grafiklerde, negatif değerlerde olan düşük-yoğunluk düşük-gradyan pikleri stabilize edici etkileşimleri gösterirken, pozitif bölgede olan pikler etkileşimin itici olduğunu göstermektedir. En güçlü hidrojen bağları, bahsedilen alkol moleküllerinin oksijen atomuna su molekülünün hidrojen atomu proton verdiği dimerler için gözlemlendi. O2...H1 atomları arasında oluşan koyu mavi dairesel hacimler moleküller arası hidrojen bağı en iyi şekilde tanımlanmaktadır. Su molekülünün oksijenine alkol molekülleri hidrojenini verdiği dimer yapılarında daha açık mavi hacimler görülebilir. Bu dimer yapılarında –CH<sub>3</sub> ve –CH<sub>2</sub> gruplarının su molekülü ile olan etkileşimleri sonucunda geniş yeşil bir hacim oluşmuştur. Şekil 4'de, negatif değerlerden etanol, 1\_propanol ve 2\_propanol yapılarının su molekülü arasındaki çekici hidrojen bağı etkileşimlerini göstermektedir. En büyük negatif değerler, etanol için Etanol-1b, 1\_propanol için 1-Propanol-2a ve 2\_propanol için 2\_Propanol-3b dimer yapılarında alkol moleküllerinin oksijeninin su molekülünün hidrojenini aldığı etkileşimlerde gözlemlendi. Şekil 4'te kritik halka noktalarına karşılık gelen pozitif işaret değerlerini gösterir. Bu, kümelerin itici etkileşimlerini tanımlanmaktadır. Etanol, 1\_propanol ve 2\_propanol moleküllerinin su molekülü ile oluşturduğu dimer yapılarında Şekil 4'teki grafikten yararlanılarak Tablo 4'te bu elektron yoğunluklarının değişim aralıkları tanımlanmıştır.



**Şekil 4.** Etanol, 1-propanol ve 2-propanol yapılarının su molekülü ile oluşturdukları dimer kümeleri için NCIPlot ile indirgenmiş yoğunluk eğimine karşı  $\text{sign}(\lambda_2)\rho$  grafiği.

**Figure 4.** NCIPlot plot of reduced density curve versus  $\text{sign}(\lambda_2)\rho$  for dimer clusters formed by ethanol, 1-propanol and 2-propanol structures with water molecule.

Belirtilen alkol molekülleri içerisinde 2-propanol molekülünün oksijeni ile  $\text{H}_2\text{O}$  molekülünün hidrojeni arasındaki moleküller arası hidrojen bağı, RDG'ye karşı işaret( $\lambda_2$ ) $\rho(r)$ 'nin çiziminde en negatif işaret( $\lambda_2$ ) $\rho(r)$  değerine karşılık geldiği gösterilmiştir. Şekil 4'deki grafikten yararlanılarak

Tablo 4'de elektron yoğunluklarının değişim aralığına bakıldığında su molekülünün hidrojenini alkol molekülünün oksijenine verdiği durumda elektron yoğunluğunun daha yüksek olduğu görülmektedir.



**Tablo 4.** Etanol, 1\_propanol ve 2\_propanol moleküllerinin su molekülü ile oluşturduğu dimer yapılarındaki etkileşimlerin elektron yoğunluklarının değişim aralığı

**Table 4.** Change range of electron densities of interactions in dimer structures of ethanol, 1\_propanol and 2\_propanol molecules with water molecule

Sistem	(-) $\rho$ a.u.	(+) $\rho$ a.u.	(-) $\rho$ a.u.	(+) $\rho$ a.u.
Etanol $C_2H_6O - H_2O$	Şekil 1a		Şekil 1b	
	0.028	0.022	0.032	0.029
1_Propanol $C_3H_8O - H_2O$	Şekil 2a		Şekil 2b	
	0.033	0.029	0.028	0.024
2_Propanol $C_3H_8O - H_2O$	Şekil 3a		Şekil 3b	
	0.028	0.023	0.034	0.030

#### 4. Tartışma ve sonuçlar

##### 4. Discussion and conclusions

Bu çalışmada, etanol, 1\_propanol ve 2\_propanol kümelerine su molekülü ilave edilerek dimer etkileşimlerinin yapısal ve topolojik özellikleri incelenmiştir. Belirtilen alkol kümeleri için çeşitli başlangıç konfigürasyonları oluşturulmuştur. Her bir yapının QUICKSTEP ile optimizasyonları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca buradan elde edilen yapılar NCIPlot yardımıyla etkileşimleri gösterilerek elektron yoğunluk değişimleri analiz edilmiştir. Alkol-su dimer yapılarında etanol, 1\_propanol ve 2\_propanolün kümelerdeki davranışına göre, alkol molekülünün hidrojen atomu ile su molekülünün oksijen atomu arasındaki etkileşim (Şekil 1a, 2b, 3a) ve alkol molekülünün oksijen atomu ile su molekülünün hidrojen atomu arasındaki etkileşimin olduğu (Şekil 1b, 2a, 3b) durumlar için iki farklı yapı olacak şekilde analiz edilmiştir. Küçük alkoller etanol, 1-propanol ve 2-propanol suda karışabilir, su molekülleri ile güçlü hidrojen bağları oluşturur ve genellikle klatrat hidrat oluşumu için inhibitörler olarak bilinir (Alavi vd., 2010). Etanol, 1-propanol ve 2-propanolün hidroksil grupları, hem proton alıcıları hem de proton vericileri olarak işlev görür ve farklı kafes su molekülleri ile O ve H hidroksil atomları arasında önemli bir eşzamanlı hidrojen bağı olasılığı vardır (Alavi vd., 2010).

Bu yapılar için hidrojen bağı etkileşimlerine bakıldığında alkol molekülünün hidrojen atomu ile su molekülünün oksijen atomu arasındaki etkileşimin olduğu durumlarda hidrojen bağının daha zayıf olduğu belirlenmiştir. Diğer durumda ise alkol molekülünün oksijen atomu (O2) ile su molekülünün hidrojen atomu (H1) arasındaki hidrojen bağının daha kuvvetli olduğu

görülmüştür. Seçilen bu alkol kümelerinde etkileşim türü olarak hidrojen bağının etkin olduğu ve sterik etkilerin kümelerin konfigürasyonlarında önemli bir rol oynayabileceği görülmüştür (Sum & Sandler, 2000). Her iki alkolün de donörlerden daha iyi hidrojen bağı alıcıları olarak hareket ederken, zayıf hidrojen bağı etkileşimlerinin etanol-su yapısında daha büyük bir rol oynadığı açıktır. Gaz fazındaki karışık su-alkol kümeleriyle ilgili daha ileri çalışmalar, bu karışımlardaki hem güçlü hem de zayıf hidrojen bağlarının büyüleyici etkisine ek ışık tutacaktır (Finneran vd., 2015). Topolojik olarak elde edilen sonuçlara bakıldığında O2...H1 atomları arasında oluşan koyu mavi dairesel hacimler moleküller arası hidrojen bağını en iyi şekilde tanımlamaktadır. Su molekülünün oksijen atomuna alkol moleküllerinin hidrojenini verdiği dimer yapılarında ise daha açık mavi hacimler görülmektedir. Ayrıca alkol moleküllerindeki  $-CH_3$  ve  $-CH_2$  gruplarının su molekülü ile olan etkileşimleri sonucunda geniş yeşil bir hacim oluşmaktadır. Buna bağlı olarak Şekil 4’de NCIPlot ile indirgenmiş yoğunluk eğimine karşı  $sign(\lambda_2)\rho$  grafiğinde en büyük negatif değerler alkol moleküllerinin oksijeninin su molekülünün hidrojenini aldığı etkileşimlerde görülmüştür. Yine bu durumda elektron yoğunlukları daha yüksek olmaktadır. Pozitif işaret değerleri ise kritik halka noktalarına karşılık gelen kümelerin itici etkileşimler olduğu belirlenmiştir. Dimerler için, R(O–O) oksijen mesafesi, R(O–H) bağı uzunluğu, hidrojen bağı kritik noktasındaki elektronik yoğunluk  $\rho$  değeri, bağlanma enerjisi BE ve OH gerilme titreşim frekansı OH kırmızıya kayması gibi hidrojen bağı özellikleri sadece monomer alt biriminin doğasına değil, aynı zamanda bu monomerlerin oynadığı verici veya alıcı rolüne de bağlıdır. (Masella & Flament, 1998).

Alkol-su dimer yapıları O-H...O hidrojen bağı ile karakterize edildiği gerçeğini ortaya koymaktadır.

Bu alkol-su yapıları, alkil protonları ve su oksijeni arasındaki daha zayıf tamamlayıcı hidrojen bağları ile daha da stabilize edilebilir. Su ve alkol hidroksil gruplarının amfoterik doğası gereği, her biri ya proton vericisi ya da proton alıcısı olarak hareket edebilir. (Evangelisti vd., 2017; Masella & Flament, 1998; Fileti vd., 2004; Finneran vd., 2015).

Sonuç olarak, bu çalışma belirtilen alkol-su kümelerinin, özellikle dimerlerinin hidrojen bağının yapısını ve dinamiklerini aydınlatmak için faydalı olabilir.

### Teşekkür

#### Acknowledgement

Bu araştırmada yer alan kısmi nümerik hesaplamalar TÜBİTAK ULAKBİM, Yüksek Başarım ve Grid Hesaplama Merkezi'nde (TRUBA kaynaklarında) gerçekleştirilmiştir ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

### Etik beyanı

#### Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarı, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

### Çıkar çatışma beyanı

#### Conflicts of interest

Bu çalışmada çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

### Kaynaklar

#### References

- Alagona, G., & Tani, A. (1981). Ab initio calculations as a source of intermolecular potential functions. Ethanol-water with a minimal basis set. *Journal of Chemical Physics*, 74(7), 3980-3988. <https://doi.org/10.1063/1.441578>
- Alavi, S., Takeya, S., Ohmura, R., Woo, T. K., & Ripmeester, J. A. (2010). Hydrogen-bonding alcohol-water interactions in binary ethanol, 1-propanol, and 2-propanol+methane structure II clathrate hydrates. *Journal of Chemical Physics*, 133(7), 074505. <https://doi.org/10.1063/1.3469776>
- Anisimov, V. M., Vorobyov, I. V., Roux, B., & MacKerell, A. D. (2007). Polarizable empirical force field for the primary and secondary alcohol

series based on the classical drude model. *Journal of Chemical Theory and Computation*, 3(6), 1927-1946. doi: 10.1021/ct700100a

- Arunan, E., Desiraju, G. R., Klein, R. A., Sadlej, J., Scheiner, S., Alkorta, I., Clary, D. C., Crabtree, R. H., Dannenberg, J., Hobza, P., Kjaergaard, H. G., Legon, A. C., Mennucci, B., & Nesbitt, D. J. (2011). Definition of the hydrogen bond. *Pure and Applied Chemistry*, 83(8), 1637-1641. <https://doi.org/10.1351/PAC-REC-10-01-02>
- Bakkas, N., Bouteiller, Y., Loutellier, A., Perchard, J. P., & Racine, S. (1993). The water-methanol complexes. I. a matrix isolation study and an ab initio calculation on the 1-1 Species. *Journal of Chemical Physics*, 99(5), 3335-3342. <https://doi.org/10.1063/1.465143>
- Balcı, F. M. (2007). *Metantiyol hidrojen klorür dimer ve trimerleri üzerine kuantum mekaniksel bir çalışma* [Yüksek Lisans Tezi Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Curtiss, L. A., & Blander, M. (1988). Thermodynamic properties of gas-phase hydrogen-bonded complexes. *Chemical Reviews*, 88(6), 827-841. <https://doi.org/10.1021/cr00088a002>
- Desiraju, G. R., & Steiner, T. (1999). *The weak hydrogen bond in structural chemistry and biology (International Union of Crystallography Monographs on Crystallography)* (1st ed.). Oxford University Press.
- Dixit, S., Crain, J., Poon, W. C. K., Finney, J. L., & Soper, A. K. (2002). Molecular segregation observed in a concentrated alcohol-water solution. *Nature*, 416(6883), 829-832. <https://doi.org/10.1038/416829a>
- Evangelisti, L., Gou, Q., Feng, G., Caminati, W., Mead, G. J., Finneran, I. A., Carroll, P. B., & Blake, G. A. (2017). Conformational equilibrium and internal dynamics in the iso-propanol-water dimer. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 19(1), 568-573. <https://doi.org/10.1039/C6CP06315B>
- Fileti, E. E., Chaudhuri, P., & Canuto, S. (2004). Relative strength of hydrogen bond interaction in alcohol-water complexes. *Chemical Physics Letters*, 400(4-6), 494-499. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2004.10.149>
- Finneran, I. A., Carroll, P. B., Allodi, M. A., & Blake, G. A. (2015). Hydrogen bonding in the ethanol-water dimer. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 17(37), 24210-24214. <https://doi.org/10.1039/C5CP03589A>
- Franks, F., & Desnoyers, J. E. (1985). *Water science reviews 1* (1st ed.). Cambridge University Press.

- Franks, F., & Ives, D. J. G. (1966). The structural properties of alcohol–water mixtures. *Quarterly Reviews, Chemical Society*, 20, 1-44. <https://doi.org/10.1039/QR9662000001>
- Guo, J. H., Luo, Y., Augustsson, A., Kashtanov, S., Rubensson, J. E., Shuh, D. K., Agren, H., & Nordgren, J. (2003). Molecular structure of alcohol-water mixtures. *Physical Review Letters*, 91(15), 157401. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.91.157401>
- Johnson, E. R., Keinan, S., Mori-Sánchez, P., Contreras-García, J., Cohen, A. J., & Yang, W. (2010). Revealing noncovalent interactions. *Journal of the American Chemical Society*, 132(18), 6498–6506. <https://doi.org/10.1021/ja100936w>
- Juurinen, I., Nakahara, K., Ando, N., Nishiumi, T., Seta, H., Yoshida, N., Morinaga, T., Itou, M., Ninomiya, T., Sakurai, Y., Salonen, E., Nordlund, K., Hämäläinen, K., & Hakala, M. (2011). Measurement of two solvation regimes in water-ethanol mixtures using X-ray compton scattering. *Physical Review Letters*, 107(19), 197401. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.107.197401>
- Krack, M., Mohammed, F., Parinello, M., VandeVondele, J., Chassaing, T., & Hutter, J. (2005). Quickstep: Fast and accurate density functional calculations using a mixed Gaussian and plane waves approach. *Computer Physics Communications*, 167(2), 103-128. <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2004.12.014>
- Masella, M., & Flament, J. P. (1998). Relation between cooperative effects in cyclic water, methanol/water, and methanol trimers and hydrogen bonds in methanol/water, ethanol/water, and dimethylether/water heterodimers. *Journal of Chemical Physics*, 108(17), 7141-7151. <https://doi.org/10.1063/1.476131>
- Peeters, D., & Huyskens, P. (1993). Endothermicity or exothermicity of water/alcohol mixtures. *Journal of Molecular Structure*, 300, 539-550. [https://doi.org/10.1016/0022-2860\(93\)87046-C](https://doi.org/10.1016/0022-2860(93)87046-C)
- Scheiner, S. (1997). *Hydrogen bonding: A theoretical perspective* (1st ed.). Oxford University Press.
- Sum, A. K., & Sandler, S. I. (2000). Ab initio calculations of cooperativity effects on clusters of methanol, ethanol, propanol, and methanethiol. *Journal of Physical Chemistry A*, 104(6), 1121-1129. <https://doi.org/10.1021/jp993094b>

## Antibacterial, optical, and microstructural properties investigations of Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders

*Ag katkılı TiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub>/PVA nanokompozit tozların antibakteriyel, optik ve mikroyapısal özelliklerinin araştırılması*

Şeyma DUMAN<sup>\*1,a</sup>, Büşra BULUT<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup> Bursa Technical University, Engineering and Natural Sciences Faculty, Metallurgical and Materials Engineering Department, 16310, Bursa

• Geliş tarihi / Received: 10.10.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 16.03.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 26.03.2022

### Abstract

This research aims to investigate the microstructural, optical, and antibacterial properties of silver (Ag) doped titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) and titanium dioxide - polyvinyl alcohol (TiO<sub>2</sub>/PVA) nanocomposite powders synthesized by the sol-gel method. The powder state characterization of the nanocomposite powders was performed with SEM, EDS, XRD, laser particle size, specific surface area, density measurements, UV-vis analysis, and antibacterial tests. SEM examinations demonstrated that titanium dioxide nanoparticles synthesized using PVA dopant have relatively spherical morphology. It detected that pure, Ag-doped TiO<sub>2</sub> and Ag-doped TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders are in an anatase phase by XRD microanalysis. The existence of silver in the nanocomposite powders was detected by EDS analysis, XRD, and UV-vis in peak shifts. The silver and polymer dopings were decreased surface area and density values for the TiO<sub>2</sub> system. The addition of Ag to the nanocomposite powders significantly improved the antibacterial properties of the synthesized TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders against Staphylococcus aureus (S. aureus) and Escherichia coli (E. coli). However, it determined that the antibacterial activity effect was little on E. coli compared to S. aureus.

**Keywords:** Ag, Antibacterial properties, Microstructural properties, Optical properties, PVA, TiO<sub>2</sub>

### Öz

*Bu çalışmanın amacı, sol-jel prosesi ile sentezlenen gümüş (Ag) katkılı titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) ve titanyum dioksit - polivinil alkol (TiO<sub>2</sub>/PVA) nanokompozit tozların mikroyapısal, optik ve antibakteriyel özelliklerini araştırmaktır. Nanokompozit tozların toz karakterizasyonu, SEM, EDS, XRD, lazer partikül boyutu, spesifik yüzey alanı, UV-vis analizi ve yoğunluk ölçümleri ile gerçekleştirilmiştir. SEM incelemeleri, PVA katkı maddesi kullanılarak sentezlenen TiO<sub>2</sub> nanopartiküllerin nispeten küresel morfolojiye sahip olduğunu gösterdi. Katkısız ve Ag katkılı TiO<sub>2</sub>/PVA nanokompozit tozların XRD mikroanalizi ile anataz fazında olduğu tespit edildi. Nanokompozit tozlarda gümüşün varlığı, EDS analizi, XRD ve UV-vis pik kaymaları ile tespit edildi. Gümüş ve polimer katkılama, TiO<sub>2</sub> sisteminde yüzey alanı ve yoğunluk değerlerini azaltmıştır. Nanokompozit tozlara Ag katkulanırılması, sentezlenen TiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub>/PVA nanokompozit tozların Staphylococcus aureus (S. aureus) ve Escherichia coli (E. coli)'ye karşı antibakteriyel aktivitesini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Ayrıca, antibakteriyel aktivite etkisinin S. aureus'a kıyasla E. Coli üzerine daha az olduğu saptanmıştır.*

**Anahtar kelimeler:** Ag, Antibakteriyel özellikler, Mikroyapısal özellikler, Optik özellikler, PVA, TiO<sub>2</sub>

<sup>\*a</sup> Şeyma DUMAN; seyma.duman@btu.edu.tr, Tel: (0224) 300 37 34, orcid.org/0000-0002-6685-5656

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-9946-6729

## 1. Introduction

### 1. Giriş

Among various metal oxides, TiO<sub>2</sub> nanoparticles have been the focus of researchers resulting from their biocompatibility, non-toxicity, chemical and physical stability, photocatalytic and antibacterial activity (Seery et al., 2007; Zhang et al., 2012; Bahadur et al., 2016). These unique properties have been prevalently studied in literature for the removal of harmful bacteria or organic and inorganic pollutants in wastewater or air and for self-sterilizing surfaces (Seery et al., 2007; Mogal et al., 2014). Moreover, it has been stated that the anatase form of TiO<sub>2</sub> possesses excellent antibacterial behavior under the illumination of UV light (Jamuna-Thevi et al., 2011; Bahadur et al., 2016). However, the disadvantages of TiO<sub>2</sub> with its wide bandgap (about 3.2 eV), such as absorbing UV light, which is a small part of the solar spectrum (<5 %), and exhibiting only antibacterial properties under the UV light, limits its wide applications (Seery et al., 2007; Zhang et al., 2012; Li et al., 2018). Accordingly, numerous studies have been accomplished to enhance the visible light activity by doping TiO<sub>2</sub> with transition metals (Chao et al., 2003; Seery et al., 2007; Bahadur et al., 2016; Li et al., 2018; Viet et al., 2018). Among them, silver (Ag) nanoparticles are one of the most widely used transition metals that extend the absorption capability in the visible region (Li et al., 2018). Furthermore, Ag nanoparticles have a strong antibacterial, antiviruses, and antifungal activity against many kinds of bacteria (Kawashita et al., 2000; Cheng et al., 2006; Sun et al., 2008; Bahadur et al., 2016). Feng et al., (2000) reported that Ag induced the inactivation of bacterial proteins in their study examining the antibacterial effect of Ag on bacteria. Hence, incorporation of Ag into TiO<sub>2</sub> composites is expected to exhibit higher antibacterial properties than the pure TiO<sub>2</sub> (Behnajady et al., 2008) and to be potential candidate for antibacterial materials (Bahadur et al., 2016).

There are various methods such as chemical reduction, mechanochemical technique, co-precipitation method, hydrothermal method, and sol-gel method to synthesis nanoparticles (Yin et al., 2003; Wang, 2007; Lee et al., 2016; Abbad et al., 2020; Bulut & Duman, 2021). Among the above-stated methods, the sol-gel method is the most common preferred method for Ag-doped TiO<sub>2</sub> nanoparticle synthesis. This method is the simplest method having advantages, such as a higher purity, a better homogeneity, a lower cost, a lower processing temperature, and the ability to go

from molecular precursor to the product (Brinker et al., 1991; Wang et al., 1999; Feng et al., 2005; Mathews et al., 2009; Haque et al., 2017). Recently, the synthesis of nanoparticles grew in importance due to enhanced surface area/volume ratio, modification of structure, and enhanced activity by comparison with micron sizes of particles. Because of the Van der Waals forces between nanoparticles, agglomeration generates. Therefore, nanoparticle-coating is significant that the Van der Waals forces between nanoparticles reduced, and the distribution of nanoparticles in the composite increased. Polymers such as polyethylene glycol (PEG), polyvinyl chloride (PVC), polyvinyl pyrrolidone (PVP), polyvinyl alcohol (PVA) are commonly preferred in nanoparticle coating (Chang et al., 2003; Shenhar et al., 2005; Guo et al., 2006; Han & Yu., 2006; Wu & Ke., 2007; Chandra et al., 2008). PVA has wide application in the biomedical field due to these features, such as non-toxic, non-carcinogenic, high hydrophilicity, biocompatibility, and biodegradability (Francis et al., 2004; Bandyopadhyay et al., 2005; Varshney, 2007). These properties allow usage of PVA for different medical applications such as drug coating agents, cosmetic industries, surgical sutures materials (Crispim et al., 2012; Swaroop et al., 2016). PVA possesses poor antibacterial ability (Fang et al., 2019). However, doping PVA to silver nanoparticles could enhance antibacterial activity, which is highly coveted in biomedical area. The inclusion of silver nanoparticles in the PVA polymer matrix could provide antibacterial activity, which is highly desirable in the medical field by killing the bacteria on site (Swaroop et al., 2016).

This work aimed to investigate the morphology and the antibacterial properties of pure, Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders synthesized by the sol-gel method. The influences of Ag dopant concentration and PVA coating of particles on the nanocomposite powders were examined. The characterization of the nanocomposite powders was carried out using scanning electron microscopy (SEM), X-ray fluorescence spectroscopy (XRF), energy dispersive spectroscopy (EDS), X-ray diffraction (XRD), laser particle size (LPS), specific surface area, UV-visible spectrophotometer, Arnold apparent and helium pycnometer density measurements. The antibacterial behavior of the nanocomposite powders was analysed. The results displayed that the joining of Ag can significantly enhance the antibacterial behavior of the produced

nanocomposite powders by developing their optical properties.

## 2. Material and methods

### 2. Malzeme ve yöntemler

#### 2.1. Raw materials and powder synthesis

##### 2.1. Hammaddeler ve toz sentezi

Titanium (IV) isopropoxide (TTIP) and urea were used, which were purchased from Sigma Aldrich™ (USA). Silver nitrate ( $\text{AgNO}_3$ , Alfa Aesar™, 99.9% purity) and polyvinyl alcohol (PVA, Merck™, MW=72,000 g/mol) were selected as dopant material and binder, respectively. Moreover, distilled water and ethanol (Sigma Aldrich™) were used in the experiments. 1 mol of TTIP was put in a 50 ml beaker consisting of 10 ml ethanol and 35 ml distilled water. The solution was stirred for 10 minutes to adjust the pH to 2.5 using a pH meter and afterward continued to mix at 50 minutes by adding 1 mol hydrochloric acid (HCl) drop-by-drop until the pH to 1. A homogeneous

clear yellow solution identified as the solution-A was obtained. 3 wt. % of PVA was solved in 10 ml of distilled water and obtained a solution coded as B was loaded dropwise to solution-A and mixed for an hour. 5 ml of distilled water and 2 or 4 wt. % of  $\text{AgNO}_3$  were mixed for 5 minutes and thus, solution-C was prepared. Solution-C was loaded dropwise to solution-A and stirred for half-hour. The prepared solution waited at room temperature for 2 hours and a gel was obtained by drying oven at 110 °C for 6 hours, and obtained powder was grinded. Finally, calcination experiment of dried powders was realized in a muffle-type furnace at 450 °C for 2 hours.

The sample codes of compositions of the nanocomposite powders are given in Table 1.  $\text{TiO}_2$  nanoparticles,  $\text{AgNO}_3$ , and PVA, which are coded to as T, A, and P, were used in the experimental study. The synthesis of the Ag-doped  $\text{TiO}_2$  and  $\text{TiO}_2$ /PVA nanocomposite powders is schematically represented in Figure 1.

**Table 1.** The samples codes and compositions.

**Tablo 1.** Numune kodları ve kompozisyonlar.

Final Sample codes	Composition of the solutions		$\text{AgNO}_3$ , wt. %	PVA, wt. %
	Initial sample content			
T	TTIP		-	-
T-2A	TTIP - 2 wt. % $\text{AgNO}_3$		2	-
T-2A3P	TTIP - 2 wt. % $\text{AgNO}_3$ - 3 wt. % PVA		2	3
T-4A	TTIP - 4 wt. % $\text{AgNO}_3$		4	-
T-4A3P	TTIP - 4 wt. % $\text{AgNO}_3$ - 3 wt. % PVA		4	3

#### 2.2. Characterization procedures

##### 2.2. Karakterizasyon prosedürleri

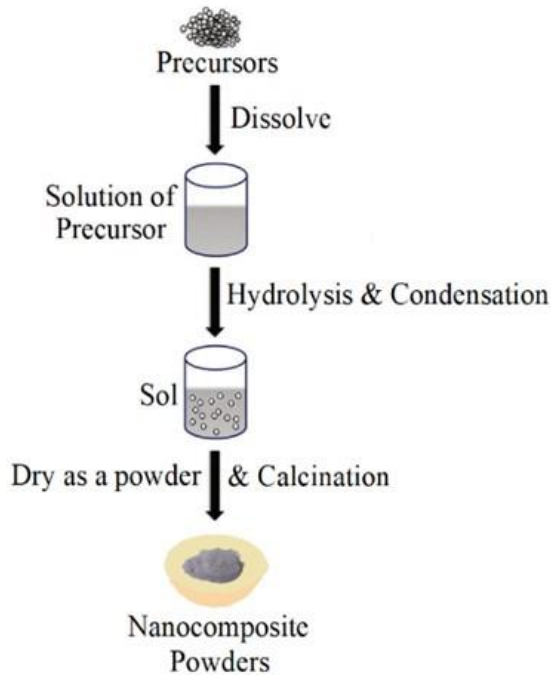
SEM (FESEM, Carl Zeiss™ Gemini 300, Germany) and EDS characterized the morphology of the synthesized Ag-doped  $\text{TiO}_2$  and  $\text{TiO}_2$ /PVA nanocomposite powders. The obtained samples were covered with an admixture of gold and palladium layers before their SEM examination operated at 15 kV. Crystalline phases of the Ag-doped  $\text{TiO}_2$  and  $\text{TiO}_2$ /PVA nanocomposite powders were identified using a Bruker™ AXS/Discovery D8 XRD connected with Lynxeye XE detector with  $\text{CuK}\alpha$  (1.54060 Å) radiation. XRD patterns were recorded operating at 40 kV and 40 mA over an angular range of 20 to 70° with a step size of 0.05° per step. The obtained XRD patterns were matched to crystalline phases from

the PDF 4-2016 Powder Diffraction database of the International Centre for Diffraction Data (ICDD).

Particle size measurements of nanocomposite powders were conducted using a Malvern™ Mastersizer 3000 particle size analyzer. The specific surface area of the prepared nanocomposite powders was determined by the Brunauer–Emmett–Teller (BET) method via Micromeritics™ Tristar II 3020 analyzer. For this purpose, all samples were outgassed for at least 3 h at 120 °C before the adsorption measurements. The apparent and pycnometer densities of nanocomposite powders were mensurated with Arnold density measurement kit and helium pycnometer (Micromeritics™, Accupyc 1330), respectively. The optical absorbance of synthesized Ag-doped  $\text{TiO}_2$  and  $\text{TiO}_2$ /PVA nanocomposite powders was determined by a UV–vis

spectrophotometer (Agilent™ – Cary60) in the wavelength range between 200 and 800 nm.

Antibacterial activity analysis was carried out according to the ASTM 2149 method. Staphylococcus aureus (S. aureus), yeast, and mold ATCC 6538 and ATCC) were used as micro-organism suspensions. These suspensions were tested with Model bacteria Escherichia coli (E. coli) at pH 7 in Maximum Recovery Diluent with different nanocomposite powders. This process was briefly performed as follows: Nanocomposite powders weighing 1g were put in a 250 ml flask containing 50 ml of microorganism solution. The certain flasks were quivered at 37 °C in an incubator, and dispersion samples were gathered after ten minutes, 20 minutes, and 30 minutes of contact times. Diluted solutions touching the surfaces were set on Muller-Hinton II agar and incubated for 24 h at 37 °C. Moreover, colony counts were made to assign the existence of viable bacteria.



**Figure 1.** Schematics diagrams of synthesis of the Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders.

**Şekil 1.** Ag katkılı TiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub>/PVA nanokompozit tozlarının sentezinin şematik diyagramları.

### 3. Results and discussion

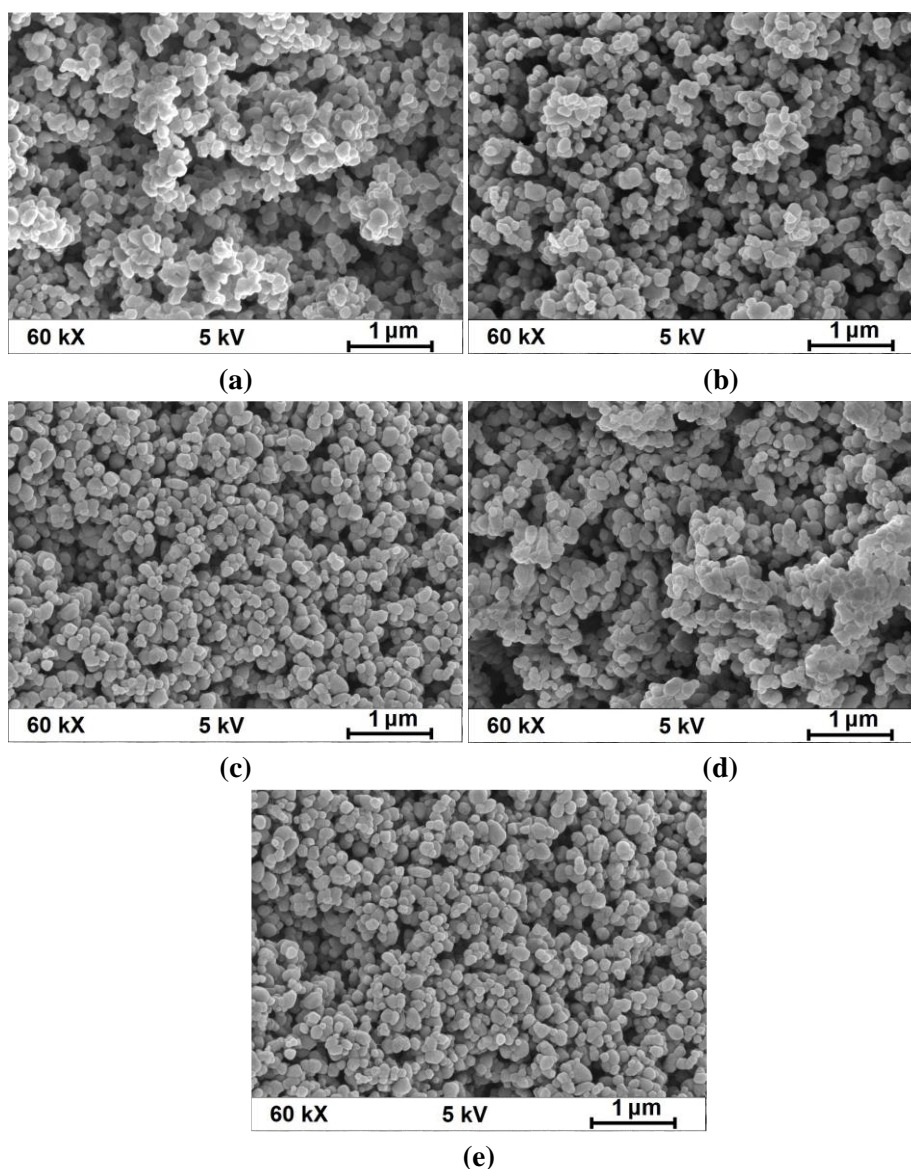
#### 3. Bulgular ve tartışma

One of the significant parameters in sol-gel is the hydrolysis ratio affecting the viscosity, gelation time, and structure of the product. A lower amount of water is required to form a low crosslinking of the product and a high sol viscosity. However, the higher amount of water causes the highly crosslinking product and the low sol viscosity (Liu & Shaw., 2015; Ye, 2018). Therefore, the first step in sol-gel experiments is to determine the optimal hydrolysis ratio. It was observed that the pH in sol-gel parameters affected the particle size of the end-product. The obtained results in the literature demonstrated that the pH value and hydrolysis ratio have a synergistic effect on the microstructures of the products (Lee et al., 2016; Ye, 2018). Sol-gel reactions can be catalyzed by both acids and bases. Another parameter is reaction temperature influencing both hydrolysis and condensation rate (Livage et al., 1988; Liu & Shaw., 2015). In our sol-gel experiments, optimal values of pH, catalyst, drying temperature, and calcination temperature were selected at 1, HCl, 110 °C, and 450 °C, respectively.

#### 3.1. Microstructural properties of nanocomposite powders

##### 3.1. Nanokompozit tozların mikroyapısal özellikleri

It is usually desired that the powders be in spherical morphology for improving physical properties like flowability, bulk density, and product appearance. To achieve spherical morphology during sol-gel, TiO<sub>2</sub> and Ag-doped TiO<sub>2</sub> sols must disperse in the form of an emulsion by using an organic solvent (Aksu et al., 2020). The binder was added into the sol for the production of spherical particles and then dried. Herein, PVA was selected as the binder. The effects of the PVA on the morphology of starting materials after sol-gel were examined using SEM in Figure 2. As shown in Figures 2a, 2b, and 2d, spherical morphology was not visible in the samples without PVA dopant. The AgNO<sub>3</sub> doped nanocomposite powders led to the formation of spherical granule shapes (Figures 2b, 2c, 2d, and 2e). As seen in the SEM micrographs, PVA is an appropriate binder for ensuring more stable spherical particles (Jr Walker et al., 1999). On the other hand, the spherical powders of T-2A3P and T-4A3P nanocomposite powders indicate smoother surface shape and denser structure (Figure 2).



**Figure 2.** SEM images of initial and synthesized nanocomposite powders: (a) T, (b) T-2A, (c) T-2A3P, (d) T-4A, and (e) T-4A3P.

**Şekil 2.** Başlangıç ve sentezlenmiş nanokompozit tozların SEM görüntüleri: (a) T, (b) T-2A, (c) T-2A3P, (d) T-4A ve (e) T-4A3P.

The XRF results are given in Table 2. The XRF outcome validated the successful doping of Ag into the synthesized  $\text{AgNO}_3$  doped  $\text{TiO}_2/\text{PVA}$ . For 2 % and 4 %  $\text{AgNO}_3$  actual Ag transfer were determined as 0.49% and 2.3%, respectively, for  $\text{TiO}_2$  system. Besides, the percent of Ag of T-2A3P and T-4A3P samples was 1.1% and 2.8% for  $\text{TiO}_2/\text{PVA}$  system. It has shown that Ag ions have entered the lattices of  $\text{TiO}_2$ . As noted above, it is come out that the existence of silver is determined from XRD peak shift and XRF elemental analysis in both  $\text{TiO}_2$  system.

Particle sizes and the surface areas distribution of  $\text{TiO}_2$  system are given in Table 1. The particle size measurements for  $\text{TiO}_2$  systems range between 310.2 and 259.9 nm. In both  $\text{TiO}_2$  and  $\text{TiO}_2/\text{PVA}$

nanocomposite powders, a decrease in particle size due to granulation was observed. It was found that the BET surface area is 11.12 and 9.46  $\text{m}^2/\text{g}$  for the starting  $\text{TiO}_2$  material and the T-4A3P product, respectively. On the other hand, a decrease in BET values was observed for  $\text{TiO}_2$  based systems due to spherical morphology.

Apparent and pycnometer densities of the initial and the nanocomposite powders are given in Table 2. An increase was observed due to the addition of PVA for the apparent density values of  $\text{TiO}_2/\text{PVA}$  nanocomposite powders. It was stated in the previous studies (Duman & Özkal., 2012) that packaging behaviours of nanopowders synthesized sol-gel method enhanced. The theoretical density for  $\text{TiO}_2$  was at 4.23  $\text{g}/\text{cm}^3$ , and a value (4.18



g/cm<sup>3</sup>) close to this value was obtained by pycnometer density measurement. It was observed that the pycnometer densities increase with the addition of Ag while they decrease with the addition of binder in TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders.

Figure 3. shows the XRD patterns of the TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders. Both the powders synthesized by the sol-gel method have tetragonal structure, and their XRD peaks were in good agreement with the JCPDS card no. 78-2486 for TiO<sub>2</sub> (Figure 3).

**Table 2.** Percentages of Ag, particle sizes and specific surface areas values of both in TiO<sub>2</sub> system.

**Tablo 2.** Her iki TiO<sub>2</sub> sisteminin Ag yüzdeleri, partikül boyutları ve spesifik yüzey alanı değerleri.

Sample code	Percent of Ag (wt.%)	Particle size (nm)	Surface Area-BET (m <sup>2</sup> /g)	Apparent Density (g/cm <sup>3</sup> )	True Density (g/cm <sup>3</sup> )	Theoretical Density (g/cm <sup>3</sup> )
T	-	306	11.12	0.34 ±0.04	4.18	4.23
T-2A	0.49	310.2	10.99	0.41±0.04	4.32	4.36
T-2A3P	1.1	303.7	9.60	0.39 ±0.03	4.23	4.26
T-4A	2.3	277.1	10.01	0.46±0.05	4.44	4.48
T-4A3P	2.8	259.9	9.46	0.41 ±0.03	4.34	4.39

In Figure 3a, the diffraction peaks at 2-theta of 25.3°, 37.8°, 48.0°, 53.9°, 55.1°, 62.7°, and 75.1° are ascribed to (101), (004), (200), (105), (211), (204), and (215) planes of TiO<sub>2</sub>. TiO<sub>2</sub> crystals have lattice parameters of a = 3.78 Å and c = 9.51 Å. The nanocomposite powders show that the synthesized nanoparticles in this research have the anatase phase. There are no additional peaks beyond the anatase phase for Ag-doped TiO<sub>2</sub> nanocomposite powders, respectively. Figure 3(c) and 3(d) show enlarged views of the (101) peak (in the 2θ range of 24-27°) in the TiO<sub>2</sub> nanocomposite powders. Herein, shifts in the peak were observed in the TiO<sub>2</sub>-based-system.

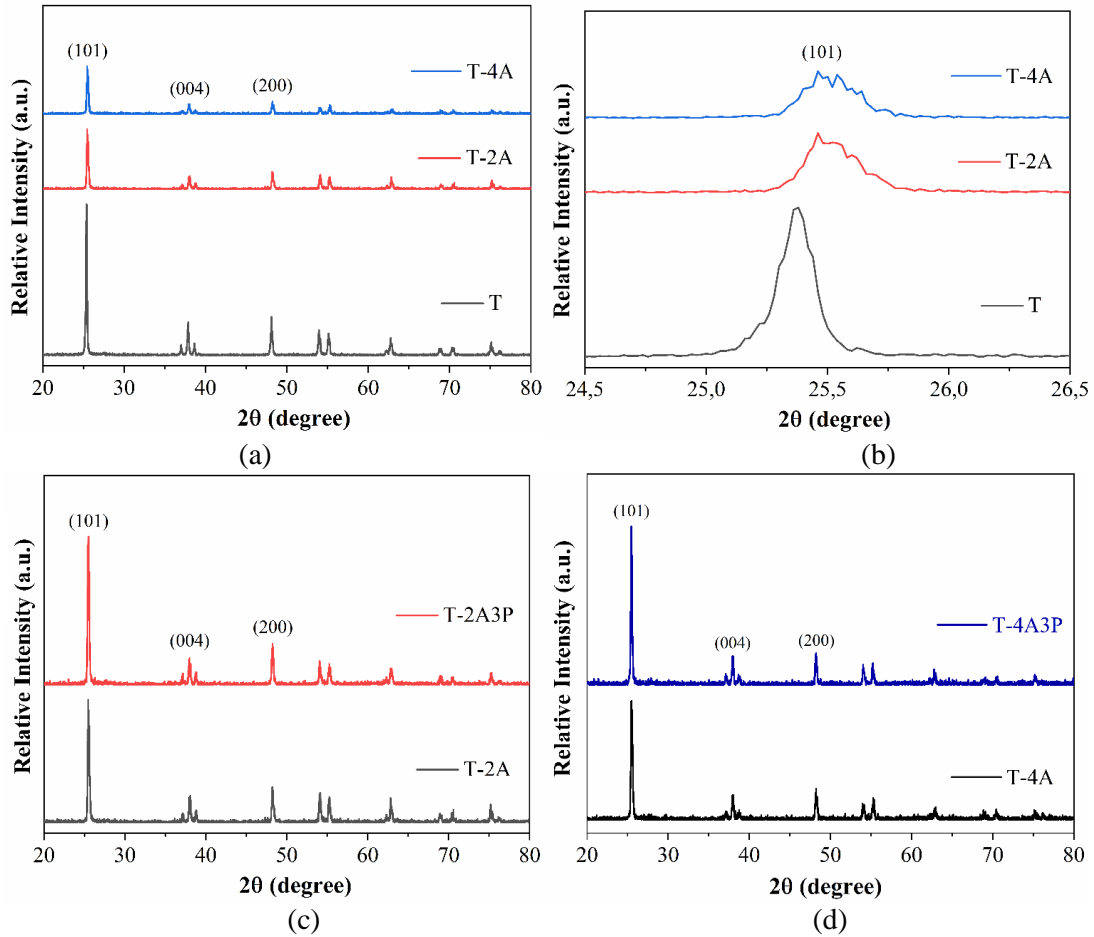
The average crystallite size has been computed from the highest intensity peak of the synthesized Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders with the help of XRD peak broadening estimation by the Debye-Scherrer's equation as follows:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \tag{1}$$

where 'D' is the crystallite size, k is the shape factor of value 0.9, 'λ' is the X-ray wavelength (1.54 Å), 'θ' and 'β' are Bragg's angle and full width at half maximum (FWHM) of a predictive peak respectively (Holzwarth & Gibson., 2011). The lattice strain of all synthesized nanoparticles was counted using The Williamson-Hall (W-H) method (Williamson & Hall., 1953). The W-H graph is procured using the following equation:

$$\beta \cos \theta = 4\epsilon \sin \theta + (0.90\lambda / \beta \cos \theta) \tag{2}$$

where 'ε' is the lattice strain presents in the synthesized Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders. The lattice strain is assessed from the slope of a plot of βCosθ versus 4sinθ. The crystallite size of the synthesized undoped and Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders by the sol-gel method are estimated and seen in Table 3. As it can be seen from Table 3, the crystallite size decreases as the 2θ value increases.



**Figure 3.** XRD patterns of initial and the synthesized nanocomposite powders.  
**Şekil 3.** Başlangıç ve sentezlenmiş nanokompozit tozların XRD paternleri.

**Table 3.** Geometric parameters of the synthesized Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders.

**Tablo 3.** Sentezlenen Ag katkılı TiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub>/PVA nanokompozit tozların geometrik parametreleri.

Sample code	2θ°	hkl	Crystallite size (nm)
T	25.39	(101)	29.2 ± 0.3
T-2A	25.61	(101)	25.7 ± 0.5
T-2A3P	25.63	(101)	20.8 ± 0.2
T-4A	25.67	(101)	20.1 ± 0.3
T-4A3P	26.35	(101)	14.4 ± 0.2

### 3.2. Optical properties of nanocomposite powders

#### 3.2. Nanokompozit tozların optik özellikleri

Effect of Ag on optical properties of the synthesized TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders by sol-gel method were detected using UV-vis Spectrometer analysis at room temperature. The optical absorption spectra of pure and Ag-

doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders are given in Figure 4. These absorption spectra indicated a redshift of the light absorption edge of Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders. The level of redshift has increased with increasing the amounts of Ag. On the other hand, Ag doping causes a reduction in bandgap energy due to the redshift of light absorption. The shifting of the light absorption

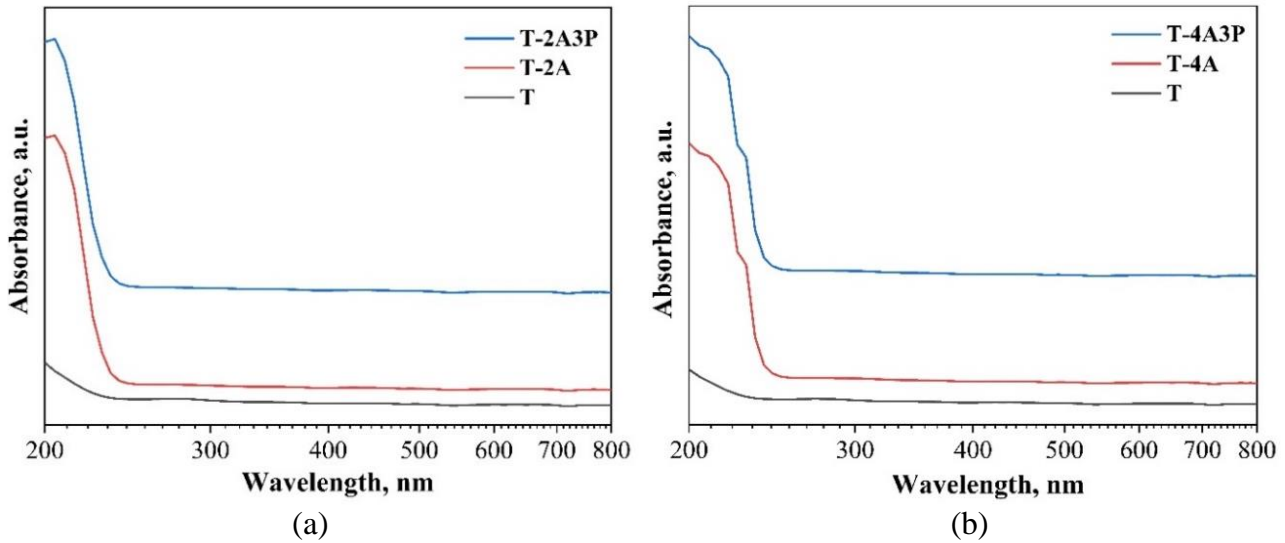
edge of TiO<sub>2</sub> nanopowders after transition metal ion doping was also reported in other studies (Ahamed et al., 2017; Ali et al., 2018; Yildirim, 2021).

Tauc Model was used to specify the optical bandgap energy of the nanocomposite powders, according to the following equation (Ahamed et al., 2016; Ahamed et al., 2017):

$$\alpha h\nu = A (h\nu - E_g)^m \quad (3)$$

where ‘ $\alpha$ ’ is the absorption coefficient, ‘ $h\nu$ ’ is the photon energy, ‘ $A$ ’ is an energy-independent constant, ‘ $E_g$ ’ is the optical bandgap, and ‘ $m$ ’ is

equal to 1/2 for allowed direct optical transitions. Herein, the optical bandgap energy can determine by performing Equation (3) to the UV–VIS spectra of the nanocomposite powders. The direct band gap values were determined corresponding to 3.34 eV, 3.27 eV, 3.26 eV, 3.18 eV, and 3.17 eV for T, T-2A, T-2A3P, T-4A, and T-4A3P, respectively (Table 4). It was determined that bandgap energy ( $E_g$ ) of TiO<sub>2</sub> nanopowders decreases from 3.34 eV to 3.17 eV when increasing the concentration of Ag dopant. Decreasing band gap energy of TiO<sub>2</sub> nanopowders after doping with metal ions is also reported by other researchers (Zhang et al., 2014; Santos et al., 2015; Ahamed et al., 2017).



**Figure 4.** UV-vis peaking values of the synthesized nanocomposite powders by sol-gel method: (a) Ag-doped TiO<sub>2</sub> and (b) Ag-doped TiO<sub>2</sub>/PVA.

**Şekil 4.** Sol-jel yöntemi ile sentezlenen nanokompozit tozların UV-vis pik değerleri: (a) Ag katkılı TiO<sub>2</sub> ve (b) Ag katkılı TiO<sub>2</sub>/PVA.

**Table 4.** The band gap values ( $E_g$ ) of pure, Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders.

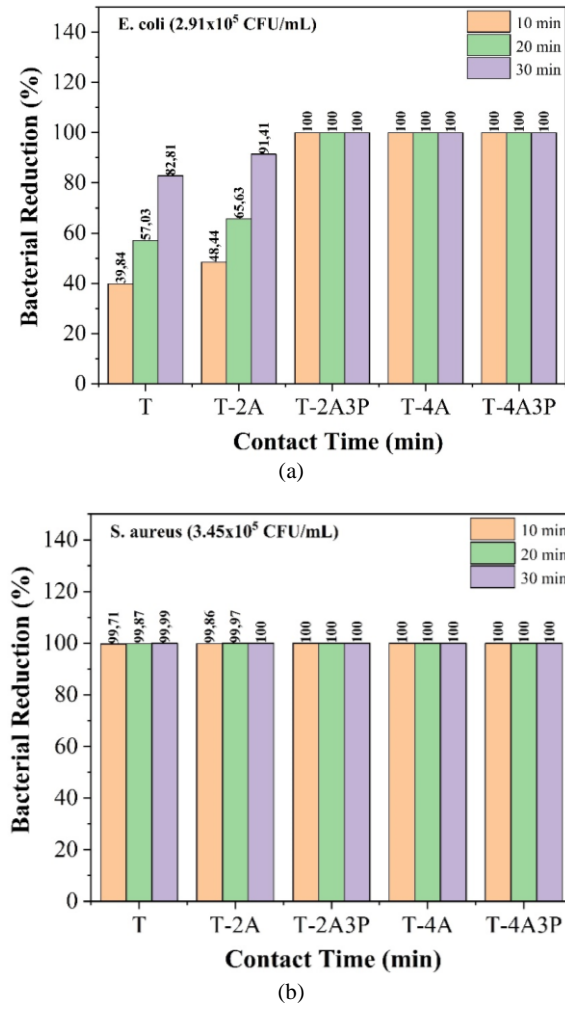
**Tablo 4.** Saf, Ag katkılı TiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub>/PVA nanokompozit tozların bant aralığı değerleri ( $E_g$ ).

Sample code	Band gap ( $E_g$ , eV)
T	3.34
T-2A	3.27
T-2A3P	3.26
T-4A	3.18
T-4A3P	3.17

### 3.3. Antibacterial properties of nanocomposite powders

#### 3.3. Nanokompozit tozların antibakteriyel özellikleri

Antibacterial behaviors of the synthesized pure, Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders were valued by Gram-negative and Gram-positive bacterias in our study. The most preferred *S. aureus* and *E. coli* strains, causing hospital infections, were used during the tests (Aydin et al., 2014). TiO<sub>2</sub>, Ag-doped TiO<sub>2</sub> (T-2A and T-4A), and Ag-doped TiO<sub>2</sub>/PVA (T-2A3P and T-4A3P) nanocomposite powders were challenged with high *E. coli* and *S. aureus* bacteria levels (at concentrations of around 10<sup>5</sup> CFU/mL). The bacterial reduction results are given in Figure 5.



**Figure 5.** Antibacterial properties of the synthesized nanocomposite powders: (a) Gram-negative bacterium *E. coli* and (b) Gram-positive bacterium *S. aureus*.

**Şekil 5.** Sentezlenen nanokompozit tozların antibakteriyel özellikleri: (a) Gram negatif bakteri *E. coli* ve (b) Gram pozitif bakteri *S. aureus*.

While the undoped control nanopowders (T) exhibit less antibacterial property in both tests, Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA deactivated all bacteria (100%) throughout the tests within the contact times of 10 minutes, 20 minutes, and 30 minutes. T, T-2A, T-2A3P, T-4A, and T-4A3P provided deactivation of 99.99%, 100%, 100%, 100%, and 100% (respectively) within 30 minutes when challenged with *S. aureus* and provided deactivation of 82.81%, 91.41%, 100%, 100%, and 100% (respectively) within 30 minutes when challenged with *E. coli*. The deactivation performance of the Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders to Gram-negative bacteria is lower than Gram-positive bacteria due to the nanocomposite powders of Gram-negative strains. An increasing amount of Ag concentration improved the antibacterial behavior of the

synthesized Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders. Ag nanoparticle is used such as antibactericidal agent due to carrying antibacterial property and enhances the antibacterial effect for a variety of applications (Panacek et al., 2006). Since Ag nanoparticles have been proved as a potential antibacterial agent, the possible mode of increase in antibacterial effect of Ag doped TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders may be due to release of Ag nanoparticles from the TiO<sub>2</sub>/PVA matrix (Cha et al., 2012; Swaroop et al., 2016).

## 4. Conclusions

### 4. Sonuçlar

Pure, Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders were successfully prepared in the form of homogeneous spherical morphologies by the sol-gel method. This method can be applied to all-ceramic systems to produce high-density materials. It is proven that polymeric binders like PVA are essential for spherical morphology with this study. The X-ray diffraction analysis of TiO<sub>2</sub> based composite powders confirms the formation of tetragonal structure and not the emergence of another secondary phase. The decrease in the surface area of TiO<sub>2</sub> particles synthesized by the sol-gel method was observed due to spherical morphology. Elemental analysis results revealed the presence of Ag in the composite powders synthesized by the sol-gel method. Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders showed optical properties, which can be demanded by different engineering needs. The Ag-doped TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/PVA nanocomposite powders ensured significant deactivation against *E. coli* and *S. aureus* of about 10<sup>5</sup> CFU within 10 minutes, 20 minutes, and 30 minutes of contact times. The pure nanopowders show less antibacterial behavior.

## Acknowledgment

*Teşekkür / Katkı belirtme*

The authors are grateful to Inst. Murat EROĞLU for his support in the morphological characterization. The authors would like to thank the Central Research Laboratory at Bursa Technical University for the SEM/EDS analyses.

## Author contribution

*Yazar katkısı*

Concept/Design: ŞD, BB; Data Collection and/or Processing: ŞD, BB; Data analysis and interpretation: ŞD, BB; Literature Search: ŞD, BB;

Drafting manuscript: ŞD, BB; Critical revision of manuscript: ŞD, BB

### Declaration of ethical code

*Etik beyanı*

The authors declare that all of the rules stated to be followed within the scope of the “Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive” were followed, and none of the actions specified under the title of “Actions Contrary to Scientific Research and Publication Ethics” have been taken.

### Conflicts of interest

*Çıkar çatışması beyanı*

The authors declare that they have no conflict of interest.

### References

*Kaynaklar*

- Abbad, S., Guergouri, K., Gazaout, S., Djebabra, S., Zertal, A., Barille, R., & Zaabat, M. (2020). Effect of silver doping on the photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> nanopowders synthesized by the sol-gel route. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(3), 103718. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103718>
- Aksu, A., Taskin, Ö, S., Cetintasoglu, M, E., Korkmaz, N, E., Torlak, C., & Caglar, N. (2020). Preparation of silica based C8 packing material from non-toxic water glass. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 7(2), 127-131. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.700599>
- Ali, T., Ahmed, A., Alam, U., Uddin, I., Tripathi, P., & Muneer, M. (2018). Enhanced photocatalytic and antibacterial activities of Ag-doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles under visible light. *Materials Chemistry and Physics*, 212, 325-335. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.03.052>
- Bahadur, J., Agrawalet, S., Panwar, V., & Parveen, A. (2016). Antibacterial properties of silver doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles synthesized via sol-gel technique. *Macromolecular Research*, 24(6):488–493. <https://doi.org/10.1007/s13233-016-4066-9>
- Bandyopadhyay, A., Sarkar, M., & Bhowmick, A. K. (2005). Poly(vinyl alcohol)/silica hybrid nanocomposites by sol-gel technique: synthesis and properties. *Journal of Materials Science*, 40(19), 5233-5241. <https://doi.org/10.1007/s10853-005-4417-y>
- Behnajady, M. A., Modirshahla, N., Shokri, M., & Rad, B. (2008). Enhancement of photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> nanoparticles by silver doping: photodeposition versus liquid impregnation methods. *Global Nest Journal*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.30955/gnj.000485>
- Brinker, C. J., Frye, G. C., Hurd, A. J., & Ashley, C. S. (1991). Fundamentals of sol-gel dip coating. *Thin Solid Films*, 201(1), 97-108. [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(91\)90158-T](https://doi.org/10.1016/0040-6090(91)90158-T)
- Bulut, B., & Duman, Ş. (2021). Effects of calcination temperature on hydrothermally synthesized titanium dioxide submicron powders. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 9(3), 676-685. <https://doi.org/10.36306/konjes.915062>
- Cha, H. R., Babu, V. R., Rao, K. S. V. K., Kim, Y. H., Mei, S. R., Joo, W. H., & Lee, Y. (2012). Fabrication of amino acid based silver nanocomposite hydrogels from PVA- poly(acrylamide-co-acryloyl phenylalanine) and their antimicrobial studies. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 33(10), 3191-3195.
- Chandra, A., Turng, L. S., Gopalan, P., Rowell, R. M., & Gong, S. (2008). Study of utilizing thin polymer surface coating on the nanoparticles for melt compounding of polycarbonate/alumina nanocomposites and their optical properties. *Composites Science and Technology*, 68, 768–776. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.08.027>
- Chang, J. H., An, Y. U., Cho, D., & Giannelis, E. P. (2003). Poly(lactic acid) nanocomposites: comparison of their properties with montmorillonite and synthetic mica (II). *Polymer*, 44, 3715–3720. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(03\)00276-3](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(03)00276-3)
- Chao, H. E., Yun, Y. U., Xingfang, H. U., & Larbot, A. (2003). Effect of silver doping on the phase transformation and grain growth of sol-gel titania powder. *Journal of the European Ceramic Society*, 23(9), 1457–1464. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(02\)00356-4](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(02)00356-4)
- Cheng, Q., Li, C., Pavlineket, V., Saha, P., & Wang, H. (2006). Surface-modified antibacterial TiO<sub>2</sub>/Ag<sup>+</sup> nanoparticles: Preparation and properties. *Applied Surface Science*, 252(12), 4154–4160. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2005.06.022>
- Crispim, E. G, Piai, J. F., Fajardo, A. R., & Ramos, E. R. F., Nakamura, T. U., Nakamura, C. V., Rubira, A. F., Muniz, E. C. (2012). Hydrogels based on chemically modified poly(vinyl alcohol) (PVA-GMA) and PVA-GMA/chondroitin sulfate: Preparation and characterization. *Express Polymer Letters*, 6, 383-395.

- <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2012.41>
- Fang, H., Wang, J., Li, L., Xu, L., Wu, Y., Wang, Y., Fei, X., Tian, J., & Li, Y. (2019). A novel high-strength poly(ionic liquid)/PVA hydrogel dressing for antibacterial applications. *Chemical Engineering Journal*, 365, 153-164. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.02.030>
- Feng, O. L., Wu, J., Chen, G. Q., Cui, F. Z., Kim, T. N., & Kim, J. O. (2000). A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Journal of Biomedical Materials Research*, 52(4), 662-668. [https://doi.org/10.1002/1097-4636\(20001215\)52:4<662:aid-jbm10>3.0.co;2-3](https://doi.org/10.1002/1097-4636(20001215)52:4<662:aid-jbm10>3.0.co;2-3)
- Feng, W., Mu-Sen, L., Yu-Peng, L., & Yong-Xin, Q. (2005). A simple sol-gel technique for preparing hydroxyapatite nanopowders. *Materials Letters*, 59(8-9), 916-919. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2004.08.041>
- Francis, S., Kumar, M., & Varshney, L. (2004). Radiation synthesis of superabsorbent poly(acrylic acid)-carrageenan hydrogels. *Radiation Physics and Chemistry*, 69(6), 481-486. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2003.09.004>
- Duman, Ş., & Özkal, B. (2012). Effect of initial powder properties on the granulation behavior of PVA added ZnO powders. *16<sup>th</sup> International Metallurgical & Materials Congress (IMMC 2012)* (ss. 182-189). İstanbul.
- Haque, F. Z., Nandanwar, R., & Singh, P. (2017). Evaluating photodegradation properties of anatase and rutile TiO<sub>2</sub> nanoparticles for organic compounds. *Optik*, 128, 191-200. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.10.025>
- Han, K., & Yu, M. (2006). Study of the preparation and properties of UV-blocking fabrics of a PET/TiO<sub>2</sub> nanocomposite prepared by in situ polycondensation. *Journal of Applied Polymer Science*, 100, 1588-1593. <https://doi.org/10.1002/app.23312>
- Holzwarth, U., & Gibson, N. (2011). The scherrer equation versus the 'debye-scherrer equation'. *Nature Nanotechnology*, 6, 534-534. <https://doi.org/10.1002/app.23312>
- Guo, Z., Pereira, T., Choi, O., Wang, Y., & Hahn, H.T. (2006). Surface functionalized alumina nanoparticle filled polymeric nanocomposites with enhanced mechanical properties. *Journal of Materials Chemistry*, 16, 2800-2808. <https://doi.org/10.1039/B603020C>
- Jamuna-Thevi, K., Bakar, S. A., Ibrahim, S., & Shahab, N. (2011). Quantification of silver ion release, in vitro cytotoxicity and antibacterial properties of nanostructured Ag doped TiO<sub>2</sub> coatings on stainless steel deposited by RF magnetron sputtering. *Vacuum*, 86(3), 235-241. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2011.06.011>
- Jr Walker, W. J., Reed, J. S., & Verma, S. K. (1999). Influence of slurry parameters on the characteristics of spray-dried granules. *Journal of the American Ceramic Society*, 82(7), 1711-1719. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1999.tb01990.x>
- Kawashita, M., Tsuneyama, S., Miyaji, F., Kokubo, T., Kozuka, H., & Yamamoto, K. (2000). Antibacterial silver-containing silica glass prepared by sol-gel method. *Biomaterials*, 21(4), 393-398. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(99\)00201-X](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(99)00201-X)
- Lee, K., Guan, B. H., Zaid, H. M., Soleimani, H., & Ching D. L. C. (2016) Impact of pH on zinc oxide particle size by using sol-gel process. *4<sup>th</sup> International Conference on Fundamental and Applied Sciences (ICFAS 2016)* (pp. 1787), Kuala Lumpur, Malaysia. <https://doi.org/10.1063/1.4968109>
- Lei, X. F., Xue, X. X., & Yang, H. (2014). Preparation and characterization of Ag-doped TiO<sub>2</sub> nanomaterials and their photocatalytic reduction of Cr (VI) under visible light. *Applied Surface Science*, 321, 396-403. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.10.045>
- Liu, C., & Shaw, L. (2015). Nanoparticulate materials and core/shell structures derived from wet chemistry methods. In B. Bhushan (Eds.), *Encyclopedia of Nanotechnology* (ss. 1-21). Dordrecht: Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9780-1\\_100906](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9780-1_100906)
- Livage, J., Henry, M., & Sanchez, C. (1988). Sol-gel chemistry of transition metal oxides. *Progress in Solid State Chemistry*, 18, 259-341. [https://doi.org/10.1016/0079-6786\(88\)90005-2](https://doi.org/10.1016/0079-6786(88)90005-2)
- Li, J., Xie, B., Xia, K., Li, Y., Han, J., & Zhao, C. (2018). Enhanced antibacterial activity of silver doped titanium dioxide-chitosan composites under visible light. *Materials*, 11(8), 1403. <https://doi.org/10.3390/ma11081403>
- Mathews, N. R., Morales, E. R., Cortés-Jacome, M. A., & Antonio, J. T. (2009). TiO<sub>2</sub> thin films—Influence of annealing temperature on structural, optical and photocatalytic properties. *Solar Energy*, 83(9), 1499-1508. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.04.008>

- Mogal, S. I., Gandhi, V. G., Mishra, M., Tripathi, S., Shripathi, T., Joshi, P. A., & Shah, D. O. (2014). Single-step synthesis of silver-doped titanium dioxide: influence of silver on structural, textural, and photocatalytic properties. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(14), 5749–5758. <https://doi.org/10.1021/ie404230q>
- Shenhar, R., Norsten, T.B., & Rotello, V.M. (2005). Polymer-mediated nanoparticle assembly: structural control and applications. *Advanced Materials*, 17, 657–669. <https://doi.org/10.1002/adma.200401291>
- Seery, M. K., George, R., Floris, P., & Pillai, S. C. (2007). Silver doped titanium dioxide nanomaterials for enhanced visible light photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 189(2-3), 258–263. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2007.02.010>
- Sun, S. -Q., Sun, B., Zhang, W., & Wang, W. (2008). Preparation and antibacterial activity of Ag-TiO<sub>2</sub> composite film by liquid phase deposition (LPD) method. *Bulletin of Materials Science*, 31(1), 61–66. <https://doi.org/10.1007/s12034-008-0011-7>
- Swaroop, K., Francis, S., & Somashekarappa, H. M. (2016). Gamma irradiation synthesis of Ag/PVA hydrogels and its antibacterial activity. *Materials Today: Proceedings*, 3, 1792–1798. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2016.04.076>
- Varshney, L. (2007). Role of natural polysaccharides in radiation formation of PVA – hydrogel wound dressing. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 255, 343–349. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2006.11.101>
- Viet, P. V., Phan, B. T., Mott, D., Maenosono, S., Sang, T. T., Thi, C. M., & Hieu, L. V. (2018). Silver nanoparticle loaded TiO<sub>2</sub> nanotubes with high photocatalytic and antibacterial activity synthesized by photoreduction method. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 352, 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2017.10.051>
- Wang, G., (2007). Hydrothermal synthesis and photocatalytic activity of nanocrystalline TiO<sub>2</sub> powders in ethanol-water mixed solutions. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 274, 185–191. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2007.05.009>
- Wang, Y., Cheng, H., Hao, Y., Ma, J., Li, W., & Cai, S. (1999). Preparation, characterization and photoelectrochemical behaviors of Fe (III)-doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Journal of Materials Science*, 34(15), 3721–3729. <https://doi.org/10.1023/A:1004611724069>
- Williamson, G. K., & Hall, W. H. (1953). X-ray line broadening from fcc aluminium and wolfram. *Acta metallurgica*, 1(1), 22–31. [https://doi.org/10.1016/0001-6160\(53\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0001-6160(53)90006-6)
- Wu, T., & Ke, Y. (2007). Melting, crystallization and optical behaviors of poly (ethylene terephthalate)-silica/polystyrene nanocomposite films. *Thin Solid Films*, 515, 5220–5226. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2006.12.029>
- Ye, C. Q. (2018). Sol-gel processes of functional powders and films, In C. Saravanan (Eds.), *Chemical reactions in inorganic chemistry*, (ss. 31-50). InTech: London, UK. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69588>
- Yildirim, S. (2021). Synthesis, characterization and optical properties of Ag-doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles by flame spray pyrolysis. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32, 16346–16358. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-06187-9>
- Yin, S., Zhang, Q., Saito, F., & Sato, T., (2003). Preparation of visible light-activated titania photocatalyst by mechanochemical method. *Chemistry Letters*, 32, 358–359. <https://doi.org/10.1246/cl.2003.358>
- Zhang, Z., Wan, M., & Mao, Y. (2012). Enhanced photovoltaic effect of TiO<sub>2</sub>-based composite ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub>. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 233, 15–19. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2012.02.009>

## Şantiye yerleşim planı kararları üzerinden bir değerlendirme: Kayseri örneği

*An evaluation on the site layout plan decisions: Kayseri example*

Z. Özlem PARLAK BİÇER<sup>1,a</sup>, Nur Selcen KARAASLAN<sup>\*1,b</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 38280, Kayseri

• Geliş tarihi / Received: 28.11.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 21.03.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 04.04.2022

### Öz

Şantiye, inşa edilecek yapının projesine ve şartnamelere uygun olacak şekilde üretilmesi için gerekli malzeme, makine, işgücü ve geçici yapıları içermektedir. Yapım işlerinin ekonomik ve hızlı olması hedeflendiği için şantiye yerleşim planlarının, inşa sürecinden önce yapılacak işler öngörülerek planlanması gerekmektedir. Bu bakımdan yapılacak işin büyüklüğü, işlevi ve imalat süresi; araç-gereçlerin, malzemelerin ve geçici yapıların yerlerinin belirlenmesinde önem arz etmektedir. Şantiyede işler sırayla olduğu gibi birbirinin içine geçen işlemler şeklinde de gerçekleşmektedir. Dolayısıyla her durumda sürekli olarak malzeme, makine ve iş gücü giriş çıkışı olmaktadır. Ayrıca artan ya da deforme olmuş malzemelerin işin yapıldığı alandan uzaklaştırılması gerekmektedir. Atık ya da artan malzemelerin şantiyeden uygun şekilde uzaklaştırılması; çevre kirliliğini önleyerek, çevrenin sürdürülebilirliğine katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada bir şantiyedeki işlerin verimli şekilde gerçekleşmesinde şantiye yerleşim planındaki düzenlemelerin, atık ve artık toplama alanlarının önemi üzerinde durulmuştur. Amaca yönelik olarak Kayseri’de farklı işlev ve büyüklükte yapı grupları içeren 19 şantiye belirlenmiştir. Öncelikle şantiyelerin yerinde inceleme ve gözlemin yapıldığı dönemdeki durumları ortaya konulmuştur. Şantiye yerleşiminde saptanan yanlış ve doğru uygulamaların değerlendirilmesinin ardından öneri şantiye yerleşim planları geliştirilmiştir. Çalışma ile incelenen farklı şantiyelerde tespit edilen yanlış uygulamaların, geliştirilen öneriler ile nasıl iyileştirilebileceği üzerinde durulmuş ve uygulamacılara şantiye yerleşim planı tasarımında örnek teşkil etmesi hedeflenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Atık yönetimi, Şantiye, Şantiye yerleşim planı

### Abstract

The construction site includes the necessary materials, machinery, labor and temporary structures to produce the building to be built in accordance with the project and specifications. Since the construction works are aimed to be economical and fast, the construction site layout plans should be planned by foreseeing the works to be done before the construction process. In this respect, the size, function and production time of the work to be done; is important in determining the location of tools, materials and temporary structures. At the construction site, the activities are carried out sequentially as well as in the form of interlocking processes. In addition, excess or deformed materials should be removed from the work area. In this study, the importance of the regulations in the construction site layout and the waste and waste collection areas in the efficient realization of the works at a construction site are emphasized. For this purpose, 19 construction sites with different functions and sizes of building groups were determined in Kayseri. First of all, the conditions of the construction sites at the time of on-site inspection and observation were revealed. After the evaluation of the wrong and correct practices determined in the construction site layout, the proposed site layout plans were developed. With the suggestions developed, it was emphasized how the wrong applications detected in the different construction sites examined in the study could be improved, and it was aimed to set an example for the practitioners in the construction site layout design.

**Keywords:** Waste management, Construction site, Construction site layout

<sup>\*b</sup> Nur Selcen KARAASLAN; selcenkaraaslan@erciyes.edu.tr, Tel:(0541) 844 39 18, orcid.org/0000-0003-2912-6005

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0002-9700-2226



## 1. Giriş

### 1. Introduction

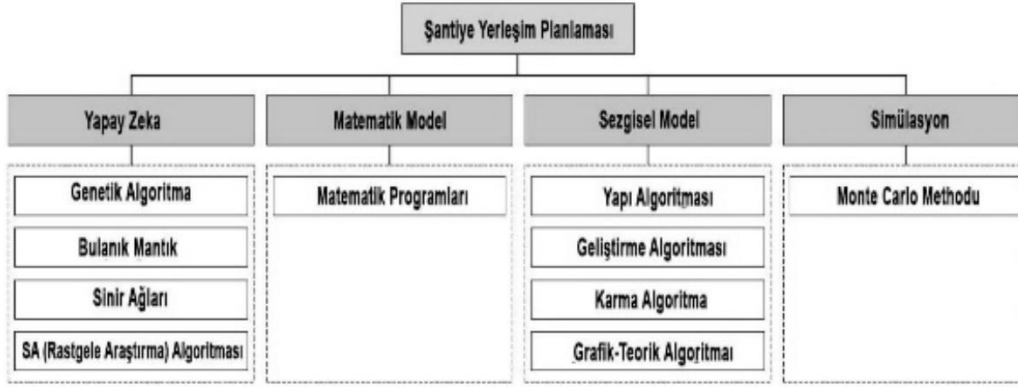
Yapı sektöründe şantiye yerleşimi konusu tesislerin yerleşim problemi olarak kabul edilip çözülmektedir. Dolayısıyla tesis yerleştirmede olduğu gibi, öngörülen kapasite ve kalite gereksinimleri en ekonomik biçimde karşılayarak üretmek veya hizmet sistemi geliştirmek amaçlanmaktadır. Yapı sektöründe, şantiye alanının sınırlı olması nedeniyle şantiye yerleşim planının inşaat maliyeti ve tamamlanma süresi üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Büyük şantiyelerde tesisler arası taşıma maliyeti ve zaman kayıpları çok büyüktür fakat alanın sınırlı olduğu küçük şantiyelerde doğru şantiye yerleşimi ile çalışma alanı sorunu çözülmektedir. Makine, malzeme, iş gücü gibi girdiler için gereken yer ve geçici bina tesisi genellikle şantiye sınırları içinde olmakla birlikte kimi durumlarda depo ve benzeri tesisler şantiye dışında bulunabilmektedir. Aynı zamanda bazı tesislerin konumu zorunlu olarak bir yere sabitlenebilmektedir ve şantiye yerleşiminde tesislerin yeri inşaat süresince değişmezken, başka bir şantiyede değişebilir ya da belirli bir zaman periyodunda kullanılan tesis bir diğer zaman periyodunda kullanılmayabilir. Benzer şekilde proje tasarımında bulunmayan fakat yapım sırasında ihtiyaç olduğu gözlenen ek binalar da eklenebilmektedir. Bu gibi etkenlerin yanında, daha sonra ortaya çıkacak nedenlere göre yeniden düzenleme yapılabilmektedir. Bu etkenleri; projedeki değişiklikler, maliyet düşürme çabaları, malzemenin taşınmasında aksaklıklar gözlenmesi, depolarda oluşan yığılmalar, hasar ve kayıp oranlarında artış, çalışma koşullarının iyileştirilmesi, teknolojik yenilikler, makine ve teçhizatın eskimesi ya da kullanım dışı kalması, yüksek kaza oranı şeklinde sıralamak mümkündür (Su vd., 1997).

Şantiye yerleşimini belirleyen etkenlerden bir ya da birkaçına bağlı olarak planlamada ufak değişiklikler yapılması mümkün olsa da şantiye yerleşim ve tedarik planının şantiye kurulumu öncesi planlanması gerekmektedir. Şantiye yerleşiminde amaç, tesisler arası ilişkilere bağlı olan maliyetleri minimuma indirmek olduğu için yapılacak yerleşimin; malzeme ve personel

hareketini en aza indirmesi, hareketleri etkili biçimde kontrol edecek şekilde olması ve böylece üretim sürecini kolaylaştırması beklenmektedir. Çalışanlar ve çalışma alanını verimli kullanmak, malzeme yükleme, boşaltma ve taşıma sürelerini en aza indirerek gereksiz zaman kayıplarını önlemek ve ileride olabilecek değişimlere karşı yerleşimin esnek olması da amaçlar arasında yer almaktadır. Ayrıca sabit yatırımların en alt düzeyde tutulması ya da yeniden düzenleme giderlerinin ortadan kalkması dikkate alınmaktadır (Su vd., 1997).

Şantiye projesi hazırlanırken şantiye binalarının yerlerinin tespiti ve yağış sularının dışarı atımında kullanılacak drenaj planının hazırlanabilmesi için şantiyenin yapılacağı yer görülmeli, çevresi hakkında bilgi alınmalı ve gerekli görülürse o yerin topografik durumu incelenmelidir. Şantiyede yapılacak depoların büyüklük ve sayılarını tespit edebilmek için, yapının çeşidi esas alınarak, fazla kullanılacak ve depolanması gerekecek gereçlerin miktarları, ne tip bir depoya ihtiyaç duyulacağı tespit edilmelidir. Şantiyede kullanılacak iş makinelerinin çeşidi ve sayıları tespit edilmelidir. Ayrıca yapılacak işin büyüklüğü dikkate alınarak, günde ortalama kaç işçi ve teknik elemanın şantiyede çalışacağı, bunlardan kaçının şantiyede konaklayacağı tespit edilmeli ve şantiyenin dış yollara olan mesafesi ve bu yolların özellikleri bilinmelidir. Şantiyeye sevk edilecek gereç ve araçların hangi yollardan yapılacağı, bunlardan (kara, deniz, demir yolu, olmak üzere) her ikisi veya üçü söz konusu ise ekonomik olanı araştırılmalıdır. Bu bakımdan detaylı hazırlanmış bir şantiye projesi ile hem şantiyenin kurulma süresinin kısaltılması hem de yerleşimin rastgele yapılarak çeşitli aksaklıkların doğmasının engellenmesi öngörülmektedir (Gülakan, 2014).

Yapım işlerinin iş programına uygun ve en az maliyetle gerçekleştirilmesi için farklı yöntemlerle şantiye yerleşim planlaması yapılmaktadır. Şantiye içi faaliyetlerin optimizasyonu sağlanarak işçilik ve malzeme maliyetinden önemli ölçüde tasarruf sağlanması için bilgisayar destekli programlar ve yöntemlerden destek alınmaktadır (Gülakan, 2014) (Şekil 1).



**Şekil 1.** Şantiye yerleşim planlaması için en çok kullanılan optimizasyon algoritmaları (He, & Wu 2012).

*Figure 1.* Most used optimizations for construction site layout (He, & Wu 2012).

Şantiye yerleşim planlamasının ardından tesis yerleştirmesi yapılırken malzeme en kısa yoldan taşınmalı, taşıma olabildiğince doğrusal yapılmalıdır. Malzeme hareketleri tasarlanırken geriye dönüşler en aza indirilmeli ve tesis binası, malzeme hareketlerini en aza indirecek şekilde tasarlanmalıdır. Mevcut binadan en ekonomik şekilde yararlanılmalı ve yapılan planlar esnek olmalı, olası gelişmeler önceden tahmin edilmeli, planlar buna göre hazırlanmalıdır (Su vd., 1997). İnşaat sektöründe şantiye boyutu, içeriği bakımından çeşitlilik barındırmakta ve şantiye yerleşimi genellikle yapım işi ilerledikçe ihtiyaca ve boş alanlara göre şekillendirilmektedir. Bu kapsamda sürecin yönetilmesi adına şantiye yerleşimi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Kusiak & Heragu (1987), şantiye yerleşimini matematiksel olarak ifade etmek için ayrıntılı bir çalışma yapmıştır. Böylece artan analitik çözüm önerileri sonuç vermiş, buna karşın, yöntem az sayıda veri için uygun olduğundan gerçek proje ihtiyaçlarına karşılık verememiştir (Christofides & Benavent, 1989). Şantiyeler insan gücüne olan ihtiyacın fazla olduğu alanlar olduğu için şantiye çalışanlarına yönelik araştırmaların teknolojik gelişmelerle desteklenmesi önemlidir. Tommelein vd. (1991) çalışmalarında, şantiye şefinin yerleşim yaparken attığı adımları ve yerleşimle ilgili dikkat ettiği hususları incelemiştir. Böylece insan düşüncesi ve kavraması üzerine bilgiler elde etmiştir. Ardından, bilgisayarın hesaplama ve veri saklama kapasitelerini inceleyen yazarlar, problem çözümünde insan davranışlarını taklit eden ve aynı zamanda bilgisayarın hesap yapma üstünlüğünü kullanan bir sistem geliştirmiştir. Her iki tarafın üstün niteliklerini taşıyan sistemin, daha iyi yerleşim seçenekleri sunduğu görülmüştür (Tommelein vd., 1991). Tesis şekil ve büyüklüklerinin eşit olmadığı durumlar için, Tate

& Smith (1995) genetik algoritma kullanılan bir yöntem önermiştir. Yöntemde, tesis şekillerinin belirlenmesi için ceza fonksiyonu kullanılmış ve gerekli kısıtlar tanımlanmıştır. Tesis şekillerine göre yerleşim yapılması için yerleşim yapılacak alan karelej yapılarak bölünmüştür (Tate & Smith, 1995).

Zouein and Tommelein (1999) yaptıkları çalışmada, dinamik yerleşim problemi için bir çözüm üretmiştir. Yaklaşımda, her kaynak için kısıtları sağlayan yerleşim seçenekleri belirlendikten sonra kurulum ve taşıma maliyetlerini minimum yapan yerleştirme, lineer programlama kullanılarak belirlenmiştir (Zouein & Tommelein, 1999). Şantiyelerde çalışan ve yöneticilerin güvenliği de önemli başka bir konudur ve Sanad vd. (2008) şantiye yerleşiminde çevre ve güvenlik faktörlerinin ele alındığı bir çalışma yapmıştır. Yöntem, genetik algoritma kullanılmıştır. Gerçek bir proje üzerinde test edilen bu uygulamada, ilk olarak, şantiye alanında karelej yapılmış ve güvenlikle ilgili sınırlar çizilmiştir. Tesisler arası uzaklıklar var olan yollar üzerinden ölçülerek elde edildikten sonra yakınlık derecelerinin belirlenmesinde bulanık mantık kullanılmıştır. Modelin uygun çözümler ürettiği görülmüştür (Sanad vd., 2008). Maliyet konusunun şantiye açısından irdelenmesi adına El-Rayes and Said (2009), dinamik şantiye yerleşimi için, işletim, organizasyon ve güvenliğe ait kısıtların dikkate alındığı, yaklaşık dinamik programlama modeli geliştirmiştir. Mevcut plan ve ileride olması gereken şantiye yerleşimlerine ait maliyetlerinin minimize edilmesi amaçlanana çalışmada mevcut maliyetler, daha önce yapılan seçimlere ait bilginin depolandığı durum vektörüne bağlı katkı fonksiyonuyla hesaplanırken, ileride oluşacak maliyetler regresyon faktörleri kullanılarak tahmin edilmektedir (El-Rayes & Said, 2009).

Şantiye yerleşiminin planlanması kadar üretim sırasında ya da sonrasında şantiyelerde kullanılan malzeme, araç-gereçlerden geriye kalan artık ve/veya atıkların da kurallı şekilde şantiye alanından uzaklaştırılması önem arz etmektedir.

Bu kapsamda atık yönetimi ile ilgili Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2015 yılında yönetmelik yayınlamıştır. Yönetmelikte amaç; atıkların oluşumundan bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetiminin sağlanması, atık oluşumunun azaltılması, atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü, geri kazanımı gibi yollar ile doğal kaynak kullanımının azaltılması ve atık yönetiminin sağlanması, çevre ve insan sağlığı açısından belirli ölçütlere, temel şart ve özelliklere sahip, bu yönetmelik kapsamındaki ürünlerin üretimi ile piyasa gözetimi ve denetimine ilişkin genel usul ve esasların belirlenmesi şeklinde ifade edilmektedir (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015).

Yapısal atık yönetimi son yıllarda çevresel sürdürülebilirlik için gerekli olmaya başlamıştır. Farklı düzeyde çalışma katmanlarından oluşan atıkların düzey hareketi ile bir alanda toplaması ve şantiye alanı içinden dışına doğru bertarafının sağlanması ve şantiye alanından atık alanına ya da tesisine taşınmasının hem maddi hem fiziksel harcamaya sebep olacaktır.

Yapısal atık yönetimi farklı değerlendirme aşamaları ile yüksek düzeyde geri kazanımın sağlandığı bir sistemdir. Ayrıca yapısal atıkların etkin bir biçimde yeniden kullanımını, geri dönüşümü, uygun ve yararlı tekniklerle yok edilmesi amaçlanmaktadır (Schultmann, 2005).

Yapı ürünlerinin çoğunun yeniden kullanımında ve geri dönüştürülme işlemi sırasında ilk üretime oranla daha az enerji, su ve hammadde kullanılmaktadır. Üretim ve taşımaya bağlı kimyasal etkiler ile buna bağlı çevresel zararlar en aza indirilebileceği gibi şantiye iç ve dış sirkülasyonunun işleyişi de verimli hale gelebilecektir. Şantiyede yerleşim planına yönelik olarak etkin atık yönetimi planlaması ve yapısal atıkların depolanması düşük düzeylere indirgenmekte böylece daha az kirlilik ortaya çıkarak var olan atık alanları da korunmaktadır (Limoncu vd., 2008).

Yapısal atık yönetimi; önleme, yeniden kullanım, geri dönüşüm, yok edilme olmak üzere dört ana aşamadan oluşmaktadır. Yapısal atık yönetiminin genel çevresel yararlarını ise, kaynakların korunumu, düşük düzeyde atık oluşumu, çevreye

verilecek zararı düşük düzeylere indirgeme vb. gibi sıralamak olanaklıdır (Thormark, 2001).

Bu çalışmada; kaynakların verimli kullanımı, atık düzeyinin indirgenmesi ve doğru yerleşimi, çevreye verilecek zararların azaltılmasında şantiye alanındaki atık ve geçici yapılar da dahil ele alarak kullanımına yönelik etkilerinin eksiden artıya dönüştürülmesi için şantiye yerleşim planı üzerinde öneriler ortaya koyulmuştur.

## 2. Yöntem

### 2. Method

Şantiye organizasyonunda yapılan her türlü işin doğru ve düzenli bir biçimde ilerlemesi amacıyla bir şantiye planı oluşturulması gerekmektedir. Çünkü işveren ve işin yöneticisi, mümkün olan en kısa sürede en az maliyet ile işi bitirmeyi hedeflemektedir. Şantiye planındaki işler sorunsuz ve eksiksiz ilerlemediğinde şantiyede zaman kaybına sebep olacaktır. Şantiye planının kurgulanmasının yanı sıra şantiyede ortaya çıkan atıkların şantiye vaziyet planı açısından yönetimi de önemlidir.

Şantiye yerleşim planı çeşitlerinin ve atık yönetimi yöntemlerinin sorgulanması için Kayseri’de bulunan 19 şantiyede yerinde gözlem ve inceleme yapılmıştır. Seçilen şantiyeler farklı işlev ve ölçeğe sahiptir. Bu doğrultuda şantiyelerde hem çalışan hem yöneticilerle yüz yüze görüşmeler yapılmıştır ve şantiyedeki işlerin işleyişi gözlenmiş, fotoğraf ve üretilen tablolarla desteklenmiştir. Doğru ve yanlış uygulamaların saptanmasının ardından alanlara yönelik öneri şantiye yerleşim planları üretilmiştir.

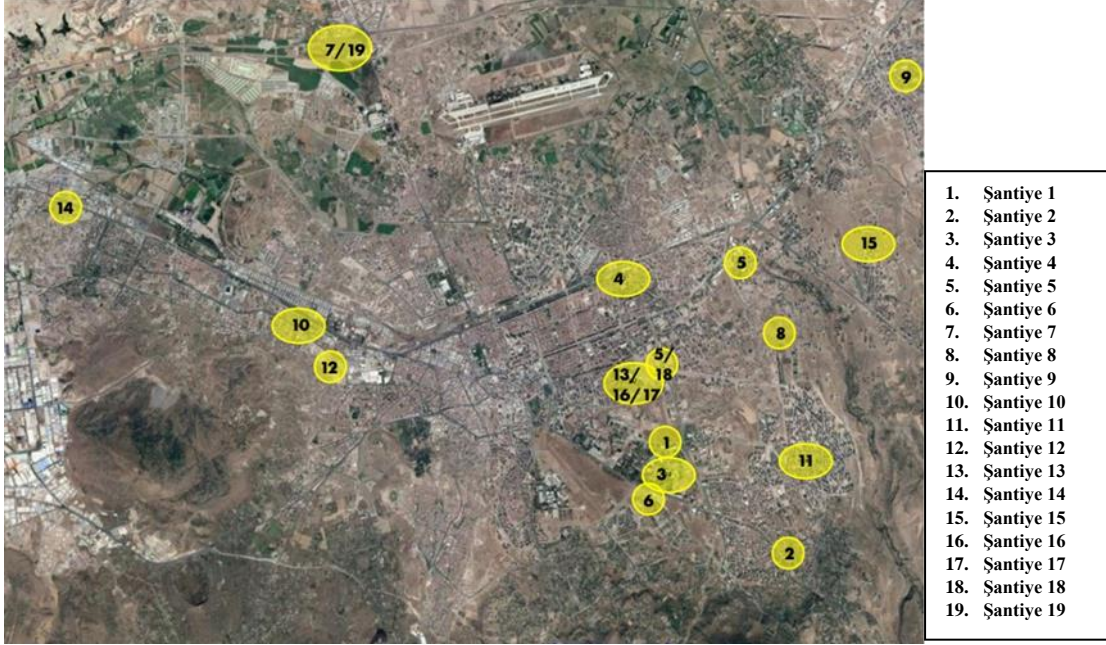
## 3. Çalışma alanı

### 3. Field

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen alan çalışması; Türkiye’nin İç Anadolu Bölgesi’nde özellikle sanayi üretiminde gelişme gösteren ve bu yönü ile çevre iller içerisinde lider kentlerden biri olan Kayseri’de yapılmıştır. Bu özelliğinden dolayı Kayseri kent merkezine hem kendi ilçelerinden hem de yakın iller ve onların ilçelerinden göç olmaktadır. Ayrıca komşu ülkelerden gelen dış göçte özellikle Suriyeli sığınmacılar için önemli bir merkez haline gelmiştir. Sanayi kenti olması sebebiyle; farklı işlevlerde yapı üretimi artmıştır. Bu doğrultuda yapı üretiminin gerçekleştirildiği şantiye yerleşim alanı planlanması ve uygulanmasındaki durumun saptanması adına 19 şantiye üzerinden değerlendirme yapılmıştır (Şekil 2).

Seçilen şantiyeler Kayseri'nin merkeze bağlı ilçelerinden olan Melikgazi ve Kocasinan Belediye sınırları içerisinde yer almaktadır. Bu ilçeler Kayseri'nin nüfus yoğunluğunun ve yapı üretiminin fazla olduğu yerleşimleridir. Şantiyeler seçilirken farklı kapasite ve işlevlerde olması, çalışmanın güvenilirliği yönünden ve hem şantiye yerleşim planı hem de atık yönetimi konuları

bakımından her işlev ve büyüklükteki şantiyelerin çok tehlikeli kapsamına alınması gerekliliği de göz önünde bulundurulmuş ve 19 şantiye seçilerek üzerinde çalışılmıştır. Çalışma alanlarına ait gözlem ve incelemelerin yapılması, kanıtlayıcı belgelerin elde edilmesinde Erciyes Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Şantiye Yönetimi dersi katılımcıları yardımcı olmuştur.



**Şekil 2.** Şantiyelerin konumu (Google Earth, 2021)

**Figure 2.** Location of construction sites (Google Earth, 2021)

### 3.1. Şantiye alanı ve durumu

#### 3.1.1. Site area and condition

Dış Hekimliği Fakültesi ek binası olarak hizmet verecek olan 1. Şantiye' de; prefabrik teknik ofis, bekçi konteyneri ve sökülebilir nitelikte şantiye çalışanlarının tamamının kullanabileceği bir yemekhane bulunmaktadır. Bunun dışında şantiye alanında hafriyat yığı ve sökülen kalıplar korunaksız şekilde bulunmaktadır. Şantiye alanının çevresi bariyer ile kapatılmış, gerekli uyarılar levhalar ile belirtilmiştir (Tablo 1).

2+1, 3+1 daireleri barındıran 2 bloktan oluşan Şantiye 2'de, prefabrik teknik ofis konteyneri bulunmakta ve şantiyede yaya ve araç girişi aynı yerden yapılmaktadır. Atıklar korunaksız şekilde yer almaktadır. Depolama alanları korunaklı olmayıp, açık sahada istif yapılmaktadır (Tablo 1).

Erciyes Üniversitesi Merkez Kampüsü içerisinde yer alan 3. Şantiye bodrum +3 kat olarak tasarlanmıştır. Binanın kaba işleri tamamlandıktan sonra duvarları örülmüş ve sıva işleri yapılmıştır. Süreçte yapı inşaatı tamamlanınca tünel ile diğer

üniversite hastanelerine bağlanmıştır. Mevcut şantiye planında işçilerin kullanması için düzenlenmiş duş-wc, işçilerin soyunma odası, buzdolabı, çay ocağının olduğu mekân, ince yapı şeflerinin kullandığı şantiye ofisi ve güvenlik kulübesi yer almaktadır. Betonarme karkas inşası esnasında yerleşim planında plywood ve kereste depolama, kalıp kesme-çakma hazırlama kısımları, inşaat demiri depolama, etriye tezgâhı ve etriye depolama alanları, atık depolama alanı ve beton pompasının ve mikserinin olduğu şantiye yerleşimine sahiptir (Tablo 1).

4 blok 112 daireden oluşan Şantiye 4'te konut ihtiyacının yanı sıra sosyal ihtiyaçların karşılanması için havuz, fitness salonu, hamam, sauna ve buhar odası gibi sosyal alanlar da bulunmaktadır. Şantiye alanının iki giriş kapısı bulunmaktadır. Girişlerden biri kuzeybatı yönünde, diğer giriş ise güneydoğu yönündedir. Şantiyeye gelen iş araçları, işin yakın olduğu kapıdan şantiye sahasına erişmektedir (Tablo 1).

3+1 ve 4+1 dairelerden oluşan 4 bloklu bir proje olan 5. Şantiye 'de iki parsel bulunmaktadır. Ayrık

nizam olan A blok bir parselde iken, bitişik nizamda olan B, C ve D blokları diğer parsel sınırları içinde bulunmakta ve aralarından yol geçmektedir. Şantiye yerleşim planında; yönetim ofisi, elektrik panosu, su deposu, iskele demirleri depolama yeri, betoniyer alanı, harç/ sıva yapım alanı, gırgır vinç alanı, atık malzeme yeri, çelik profiller ve güvenlik bariyerleri depolama yeri, ahşap palet depolama alanı, kum istifleme alanı, çeşitli duvar örme malzemelerinin yeri, kereste depolama alanı, bekçi kulübesi, ahşap kalıp işleme alanı ve yalıtım malzemeleri deposunun bulunduğu yerler belirlenmiştir (Tablo 1).

Şantiye 6, Vakıf destekli Engelsiz Yaşam Merkezi olarak işlevlendirilmiş bir proje olup çevre düzenlemesi belediyeye aittir. Şantiye alanında iş araçları için ve yakın çevrede ise özel araçlar için otopark bulunmaktadır. Şantiyeye gelen iş araçları bu kapıdan giriş yaptığı için bu durum araç ve yaya sirkülasyonu açısından problem oluşturmaktadır (Tablo 1).

Şantiye 7, Kayseri'nin Kocasinan İlçesi'nde bulunan Erkilet Mahallesi'nde yer almaktadır. Şantiye, konut projesi şantiyesidir. 2 blok olarak tasarlanmıştır. Araç girişi Erkilet Bulvarı tarafında yer almaktadır (Tablo 1).

Melikgazi İlçesi Köşk Mahallesi'nde bulunan çok katlı konutları içeren 8. Şantiye' de 2+1, 3+1, 4+1 düzende konutların bir kısmı tamamlanmış bir kısmı ise yapım ve proje aşamasındadır (Tablo 1).

Şantiye 9, iki bloktan oluşan konut yapısıdır ve zemin katında spor alanları bulunmaktadır. İki bloğun inşaatı aynı anda devam etmektedir. Şantiye alanında bekçi kulübesi ve işçilerin kullanması için tuvalet yer almaktadır. Fakat soyunma birimi ve şantiye ofisi bulunmamaktadır (Tablo 1).

Şantiye 10, bitişik nizam 20 villadan oluşmaktadır. Şantiye alanı yerinde incelendiği dönemde, yapı bloklarının bir kısmında kaba yapı işleri bitmiş olup ince yapı işleri yapılırken bir kısmında kaba yapı işleri halen devam etmektedir. Malzemeler saha içerisinde açık alanda veya yapı blokları içinde bulunmaktadır (Tablo 1).

2 bloktan oluşan ve eğimli arazide bulunan 11. Şantiye' de yaya ve araç girişi aynı yerden yapılmaktadır. Arazinin elektrik tesisatı için ana elektrik panosu kuzey batı kısmına, şantiye alanın sınırları içine yönetim ofisinin yanına yerleştirilmiştir. Tuvaletler eğime paralel çekilen sınır levhalarının arası kapatılarak yapılmıştır.

İşçiler yapının içinde bir odayı soyunma alanı olarak kullanmaktadır (Tablo 1).

Şantiye 12'de, şantiye ofisi, bekçi kulübesi, atık stoku, imalat alanı, su deposu, elektrik panosu, çimento stok yeri, taş stok yeri, kum alanı, çimento stok alanı, depo, demir ve kalıp stok yerleri bulunmaktadır. Şantiyenin 2 girişi vardır. Şantiyede yaya girişi kontrollü olup güney kısmından şantiye ofisinin arkasından, bekçi kulübesinin yanından yapılmaktadır. Araç girişi ise kuzey batıdan yapılmakta ve araç kuzey doğudan bulvara dâhil olmaktadır. Kalıp ve demir işi güney kısmında yönetim ofisinin arkasında yapılırken her bloğunun önünde hafriyat toprağı ve kullanılacak diğer malzemeler yığılmıştır. Bekçi ofisinin yanındaki kulübe depo olarak kullanılmaktadır. Ayrıca güneybatıda bekçi ofisi ile depo arasında kalıp ve demir atıkları depolanırken atıkların bir kısmı da güneydoğuda 3.bloğun yanında depolanmaktadır (Tablo 1).

İlköğretim okulu ve liseden oluşan Şantiye 13, 5032m<sup>2</sup> ilköğretim ve 2782 m<sup>2</sup> lise bina inşasını içermektedir. İlköğretim bünyesinde derslikler, yemekhane, idari birim, 2 spor salonu, buz pateni, konferans salonu, yüzme havuzu barındırmaktadır. Lise ise derslikler, yemekhane, idari birim, 2 spor salonu, konferans salonunu barındırmaktadır. Şantiyede bekçi kulübesi ve şantiye ofisi yer almaktadır. İşçilerin ve yöneticilerin kullanımına ayrılmış tuvalet bulunmamakta bekçi kulübesi ya da şantiye ofisi kullanılmaktadır. Şantiyeye yeni gelen ya da atık haldeki malzemeler için depolama alanı yoktur (Tablo 1).

14. Şantiye, Melikgazi Ambar Mahallesi'nde bulunan, kaba yapı işlerinin devam ettiği çok katlı konut şantiyesidir. Şantiyede araç ve yaya girişi malzeme istifinin yapıldığı alana yakındır. Çalışanlar tarafından kullanılabilir tuvalet birimi bulunmaktadır (Tablo 1).

Kayseri'nin Melikgazi Belediyesi Esentepe Mahallesi'nde bulunan Şantiye 15, 4 bloktan oluşmaktadır. Şantiye alanının 3 girişi vardır. Kuzey batı kapısından işçi ve araç girişi bulunmaktadır. Arazinin elektrik tesisatı için ana elektrik panosu kuzey batı kısmına, şantiye alanın sınırları dışına yerleştirilmiştir. Arazinin kuzey batı girişi yakınında su deposu, bekçi odası ve yönetim ofisi bulunmaktadır. Deponun yanında küçük bir bekçi odası ve yanında yönetim ofisi yer almaktadır. Şantiye alanında temeli atılmaya başlanmış olan 3 bloğun yakınına D bloğunun kaba işinden çıkan kereste, kalıp, demir gibi malzemeler, depolanmaktadır. Harç için dökülen kum ise kullanılacak alanın yakınına





dökülmektedir. İşçiler yapının içinde bir odayı giyinme ve soyunma odası olarak kullanmaktadır. Şantiye 16, zemin + 14 kattan oluşan ve iki farklı plan tipolojisine sahip iki bloktan oluşmaktadır. İki bloğun arası otoparka, çevresi ise yeşil alan ve sirkülasyona ayrılmıştır. Şantiyede ofis, beççi kulübesi, tuvalet birimleri bulunmaktadır. Depolama yapı içinde ve şantiye etrafında atıl olarak yapılmaktadır. Parsel sınırından yaklaşma payı bırakılmış ve bu kısımlar depolama ve atık toplama alanlarına dönüştürülmüştür (Tablo 1).

Şantiye 17, Kayseri'nin Melikgazi ilçesinde bir konut projesidir. Proje dükkânların bulunduğu zemin kat ve her katta 3+1 iki konut olan 11 kattan oluşmaktadır. En üst kattaki konut iki katlı olarak tasarlanmıştır. Konutlarda güney cepheden dükkân girişleri ve otopark girişi parselin kuzey yönündendir. Otopark yapının kuzey cephesinde tasarlanmıştır (Tablo 1).

Şantiye 18, cadde üstünde 3 ve arka kısımda 2 olmak üzere toplamda 5 parselden oluşan inşaat kompleksinin arka yol üzerinde bulunan alanını kapsamaktadır. Her parsel için farklı bir şantiye başlatılmıştır. Şantiyede yönetim /satış ofisi, su deposu, su dağıtım yeri, elektrik panosu, araç girişi, ana giriş, çimento depolama ve yapım alanı, işçi konteyneri, kalıp ve ahşap işleri, demir, fayans vs. kesim alanı bulunmaktadır (Tablo 1).

3 bloktan oluşan 19. Şantiye' deki A ve B bloklarında kaba işler bitmiş olup ince işlere geçilmiş ve bu bloklarda alçı sıva işleri devam etmektedir. C bloğunda ise kaba işler devam etmektedir. Şantiye alanı içerisinde bir adet yönetim ofisi niteliğinde konteyner bulunmaktadır. Şantiye alanında hafriyat bulunmamakta ancak çalışmalar sonucu oluşan atıklar düzensiz bir şekilde yer almaktadır ve şantiye çevresi korunaklı biçimde kapatılmıştır (Tablo 1).


**Tablo 1.** İncelenen şantiyelerin genel durumları ve şantiye verileri  
**Table 1.** General conditions of the surveyed construction sites and site data

	Şantiye alanı	Mevkii	Şantiyenin genel durumu	Bulunan geçici yapılar					
				Bekçi Kulübesi	WC	Yemekhane	Şantiye Ofisi	Atölye/Depo	
1	 (Ateşoğlu, 2019)	Melikgazi	Kaba yapı bitmiş, ince yapı işlerine devam ediliyor.	+	+	+	+	-	
2	 (Büken, 2019)	Talas	Kaba yapı bitmiş, ince yapı işlerine devam ediliyor.	-	+	Bilinmiyor	+	-	
3	 (Özkebabçı, 2019)	Melikgazi	Kaba yapı bitmiş, ince yapı işlerine devam ediliyor.	+	+	+	+	+	
4	 (Dinçel, 2019)	Melikgazi	Kaba yapı işlerine devam ediliyor.	+	-	-	+	-	

**Tablo 1. Devamı**  
**Table 1. Continued**

5		Melikgazi	A Blok'ta kaba yapı bitmiş, B Blok'un kaba yapı işlerine başlanmıştır.	+	+	+	+	+
	(Murt, 2019)							
6		Talas	Kaba yapı bittiği bölümlerde ince yapı işlerine devam ediliyor.	+	+	-	+	-
	(Boyraz, 2019)							
7		Kocasinan	Kaba yapı işlerine devam ediliyor.	+	+	+	-	-
	(Yolay, 2019)							
8		Melikgazi	Bloklarda farklı aşamalarda kaba yapı işlerine devam ediliyor.	+	+	+	+	-
	(Karaaslan, 2019)							
9		Melikgazi	Bloklarda farklı aşamalarda kaba yapı işlerine devam ediliyor.	+	+	Bilinmiyor	-	-
	(Keleş, 2019)							
10		Melikgazi	Bloklarda farklı aşamalarda kaba ve ince yapı işlerine devam ediliyor.	+	+	-	+	+
	(Arı, 2019)							

**Tablo 1. Devamı**  
**Table 1. Continued**

11		Talas	Bloklarda temel işleri, kaba ve ince yapı işleri devam ediyor.	+	+	-	-	-
	(Varol, 2019)							
12		Melikgazi	Bloklarda kaba ve ince yapı işleri devam ediyor.	+	-	-	+	-
	(Taşpınar, 2019)							
13		Talas	Kaba yapı işlerine devam ediyor.	+	-	+	+	-
	(Keleş, 2019)							
14		Melikgazi	Kaba yapı işlerine devam ediliyor.	+	+	Bilinmiyor	+	-
	(Kızılca, 2019)							
15		Melikgazi	Bloklarda kaba ve ince yapı işleri devam ediyor.	+	-	-	+	-
	(Demir, 2019)							
16		Melikgazi	Kaba yapı bitmiş, ince yapı işlerine devam ediliyor.	+	+	Bilinmiyor	+	-
	(Servi, 2019)							



**Tablo 1. Devamı**  
**Table 1. Continued**

17		Melikgazi	Kaba yapı bitmiş, ince yapı işlerine devam ediliyor.	+	-	-	-	-
	(Aygün, 2019)							
18		Melikgazi	Kaba yapı işlerine devam ediliyor.	-	-	-	-	-
	(Yılmaz, 2019)							
19		Kocasinan	Kaba yapı bitmiş, ince yapı işlerine devam ediliyor.	+	-	Bilinmiyor	+	-
	(Adıyaman, 2019)							

#### 4. Bulgular ve öneriler

##### 4. Results and suggestion

Şantiye 1’de şantiye sınırları bariyerler ile uygun şekilde çevrilmiştir. Yemekhane ve tuvaletler şantiye alanında herkesin erişebileceği noktadadır. Teknik ofisler ve bekçi konteyneri girişe uzaktır. Kullanılmayan malzemeler için daha sonra kullanılmak üzere mevsim şartlarından koruyacak depo alanı yoktur ve iş makinaları açık alanda bekletilmektedir. Geri dönüşümü olabilecek malzeme toplama alanı ve hafriyat atığı depolama alanı bulunmamaktadır. Geri kullanımı olabilecek malzemeler için temizleme alanı yoktur ve kalıplar açık alanda bulunmaktadır. Şantiye atığı ve hafriyat atığı birleşmiş ve ayrışımı zor hale gelmiştir. Geri dönüşümü olmayan atıklar hala

alandaki tutulmaktadır. Şantiyede kullanımı esnasında zarar gören malzemeler, açık alanda bırakılmış ve tamir edilme ya da geri dönüşüm imkanları kalmamıştır (Şekil 3).

Şantiye 1’de mevcuttaki bariyerlere müdahale edilmemesi önemli görülmüştür. Kullanım aşamasında yeşil alan olması planlanan bölgede hafriyat atığı bulunduğu için projede belirlenen yeşil alan çalışması başlatılması süreç için önemli görülmüştür. Bununla birlikte teknik ofis ve bekçi konteynerlerinin girişe yakın konumlandırılması ve buna bağlı elektrik hattı ve teknik ofis yanına konumlandırılması, atık toplama ve depolanması için birimlerin eklenmesi önerilmektedir (Şekil 3).

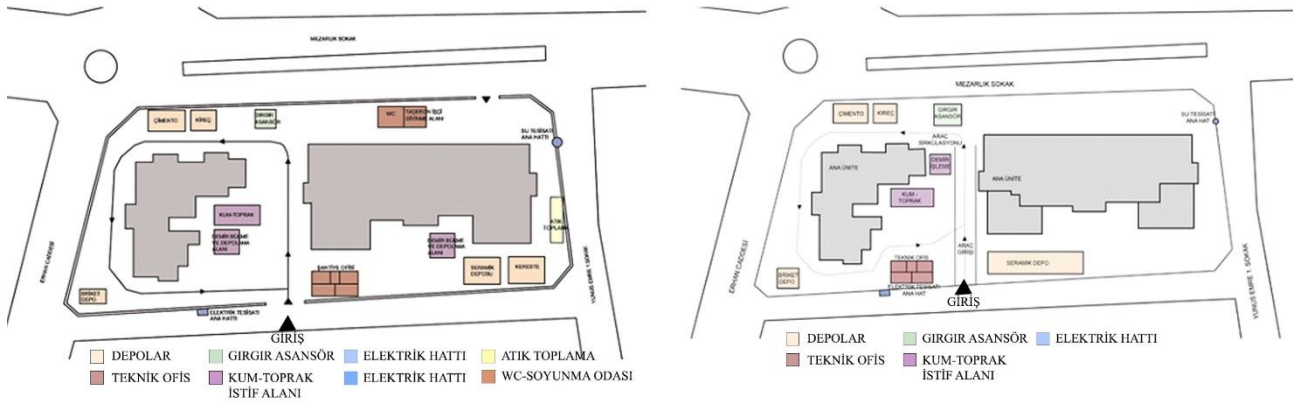


Şekil 3. Şantiye 1'e ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Ateşoğlu, 2019)

Figure 3. Current and proposed site layout plan of construction site 1 (Ateşoğlu, 2019)

2. Şantiye alanında uygun yerlere bariyer ve levhalar yerleştirilmiştir. Teknik ofis araç sirkülasyonunu kesen bir konumda yer almaktadır. Tuvaletler teknik ofis içerisinde yer almaktadır. Geri dönüşümü olabilecek malzeme toplama alanı ve hafriyat atığı depolama alanı bulunmamaktadır. Yaya ve araç sirkülasyonu girişi aynı yerden yapılmaktadır. Depolama alanları için korunak yapılmamış olup, malzemeler açık sahada konumlandırılmaktadır. Enerji hatları birbirinden uzak şekilde konumlandırılmıştır. Yapı atıkları için bir alan bulunmamaktadır (Şekil 4).

Şantiye 2 alanında atık yönetimi standartlarına uyumlu olacak şekilde geri dönüşümü mümkün olan atıklar için atık toplama alanının oluşturulması, şantiye alanında bulunan şantiye ofisinin araç sirkülasyonunu kesmeyecek şekilde şantiyeye hakim bir noktada konumlandırılması, taşeron işçilerine ait olacak giyinme alanının şantiye ofisinden ayrılıp yaya girişine yakın yerde konumlandırılması, yaya ve araç sirkülasyonunu aynı girişten ayırmak için iki girişin tasarlanması, depolama alanlarının düzenlenerek, birbiri ile ilişkili şantiye ünitelerinin yan yana konumlandırılması uygun görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Şantiye 2'ye ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Büken, 2019)

Figure 4. Current and proposed site layout plan of construction site 2 (Büken, 2019)

Şantiye 3'te işçi kullanımı için ayrılan kısımlar yeterli ve kullanıma elverişli biçimdedir. Şantiye ofisleri iş akışını takip etmeye uygun konumda bulunmaktadır. Atık depolama alanı uzaklaştırma önceliği açısından elverişlidir. Şantiye sahasının dar olması iş sağlığını tehlikeye düşürmekte, planlamada zorluklara sebep olmaktadır. Şantiye sahasında iş makineleri ve kamyonlar için hareket elverişliliği sağlayacak bir güzergâh bulunmamaktadır. Tüm istiflerin tek alanda olması da hareketi kısıtlamaktadır. Şantiyede atıklar ayrıştırılmamakta ve geri dönüşümü olabilecek malzeme toplama alanı ve hafriyat atığı depolama

alanı bulunmamaktadır (Şekil 5). Şantiye 3'te sahanın darlığı sebebiyle malzeme istif ve çalışma alanlarında sorun yaşandığından 3. Şantiye' de sahanın güney batı yönünde genişletilerek bu bölümün depolama ve çalışma alanı olarak kullanılması, şantiyenin kuzey doğu kısmı özellikle temel kapatılması esnasında iş makineleri için çalışma alanı açısından zorluk arz ettiği için şantiye sahasının genişletilmesi, şantiyede mevcutta depolama-istif için kullanılan, kuzeybatı yönüne bir kapı daha açılarak iki kapı arasının güzergâh olarak çalıştırılması işlemleri önerilmektedir (Şekil 5).



1- Demir-Profil İstif Alanı 3- Tuğla İstif Alanı  
2- Kum İstif Alanı 4- Atık Depolama Alanları



1- Metal Atık Depolama 3- Dönüştürülemez Atık Depolama 5- Araç Sirkülsayon Hattı  
2- Geri Dönüştürülebilir Atık Depolama 4- Diğer Depo Alanı

**Şekil 5.** Şantiye 3'e ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Özkebaççı, 2019)  
**Figure 5.** Current and proposed site layout plan of construction site 3 (Özkebaççı, 2019)

4. Şantiye'de depoların yerleri sabit olmayıp yapılan işin konumuna göre değişkenlik göstermektedir. Bu durum sirkülasyonu olumsuz etkilemekte ve karışıklık oluşturmaktadır. İşçiler için yemek yenilen mekân yeterli büyüklükte değildir. Şantiyenin kuzeybatı tarafında aracın manevra alanı kısıtlıdır bu nedenle araç girişi çıkışı rahat değildir. Su deposu ve elektrik panosunun aynı alanda bulunması risk taşımaktadır. Mevcut durumda kereste işlemlerinin su deposunun üzerinde yapılması tehlikeli bulunmaktadır. Çimento depolama alanı araç sirkülasyonunu engellemektedir. İşçilerin kullanacağı tuvalet yoktur ve atıkların gelişigüzel yerlere atılması insan sağlığını etkilemektedir. İnşaat sahasında atıkların geri dönüşümü ve çevreye zarar

vermeyecek şekilde düzenli depolama alanlarına sevk edilmesi konusunda şantiyede önlem alınmamaktadır. Şantiyede tehlikeli atıklar için özelleşmiş bir alan mevcut değildir (Şekil 6).

4. Şantiye' de inşaatta kullanılan malzemelerin hava koşullarından etkilenmemesi için kapalı mekanların eklenmesi, şantiye ünitelerinin birbirleriyle ilişkili, kolay erişilebilir ve ana işin işleyişi bozmayacak şekilde konumlandırılması, işçilerin yemek yedikleri alanın yetersiz olduğu gözlemlendiği için daha büyük bir mekanın eklenmesi, su deposu ve elektrik panosunun uzaklaştırılması, işçilerin kullanacağı tuvaletlerin eklenmesi, atıklar için geri dönüşüm alanı kullanılması önerilmektedir (Şekil 6).



**Şekil 6.** Şantiye 4'e ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Dinçel, 2019)  
**Figure 6.** Current and proposed site layout plan of construction site 4 (Dinçel, 2019)

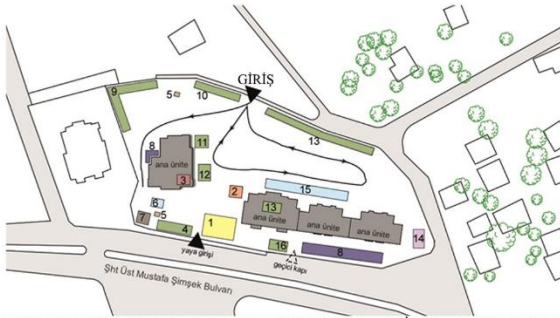
Şantiye 5'te depolama yerinde malzemeler şantiye alanına düzensiz bir şekilde yerleştirilmiştir ve aynı malzeme birden fazla yerde depolanmıştır. Depolanan malzemelerin yerleri sabit olmayıp ihtiyaç durumuna göre hem yer değiştirmektedir hem de yerine yenileri gelmektedir. İşçiler için yemek yeme ve soyunma alanları yeterli

büyükte değildir. Şantiye alanının dar bölgeleri atıkların biriktirildiği bölgelerdir. Ana ünitelere çok yakın yerlerde bulunduğu için hareketin kısıtlanması, atıkların en baştan ayrıştırılmak yerine önce toplanıp sonra ayrıştırılması, atıkların genel olarak yeniden kullanılmaması, kısa süre içerisinde

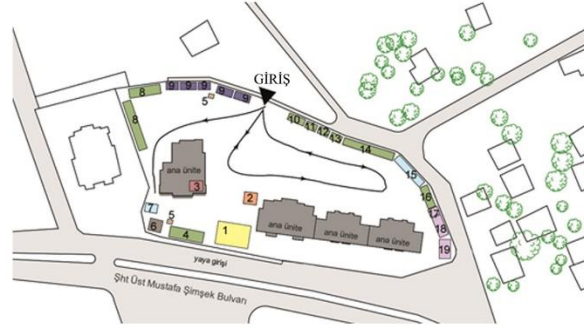
şantiyeden uzaklaştırılması ise yapılan yanlış uygulamalardandır (Şekil 7).

Şantiye 5 yerleşim planında yönetim ofisi, elektrik panosu, su deposu, iskele demirleri depolama yeri, betoniyer alanı, harç/ sıva yapım alanı, , çelik profiller ve güvenlik bariyerleri depolama yeri, ahşap paletlerin yeri, kum istifinin yapıldığı yer, çeşitli duvar örme malzemelerinin yeri, kereste depolama alanı, bekçi kulübesi, ahşap kalıp işleme

alanı ve yalıtım malzemeleri deposu yerleri önerilmektedir. Bu kapsamda birbirleriyle ilişkili birimlerin bir arada yerleştirilmesi, toz ürünler ve altlarına konan ahşap palet depolarının yan yana konumlandırılması, kalıp malzeme ve atölyeleri birbirine yaklaştırılması, atıkların ayrıştırılması ve iş makinesi giriş kapısının yakınına konumlandırılması, işçiler için yetersiz olan birimler için yeni alanlar eklenmesi uygun görülmektedir (Şekil 7).



- 1)Yönetim Ofisi 2) Elektrik Panosu 3) Su Deposu 4) İskele Demirleri Depolama
- 5) Betoniyer 6) Harç/Sıva Yapım Alanı 7) Gırgır Vinç 8) Atık Malzemeler
- 9) Çelik profiller ve güvenlik bariyerleri depolama 10)Ahşap paletler 11)Kum istif
- 12)Çeşitli duvar örme malzemeleri 13)Kereste depolama 14) Bekçi Kulübesi
- 15)Ahşap kalıp işleme alanı 16)Yalıtım malzemeleri deposu



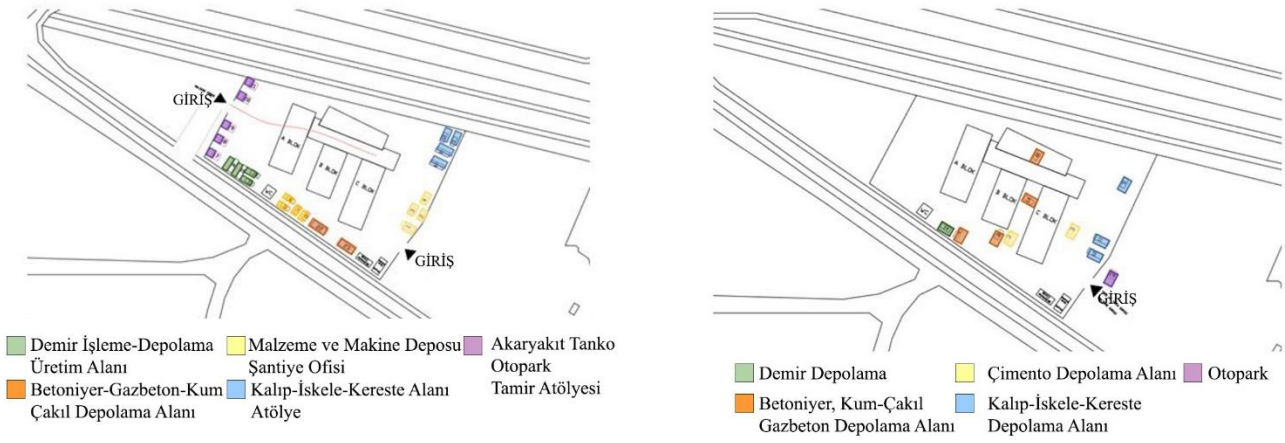
- 1)Yönetim Ofisi 2) Elektrik Panosu 3) Su Deposu 4) Duvar Örme Malzemeleri
- 5)Betoniyer 6)Gırgır Vinçler 7) Harç Yapımı 8) Çelik Profil ve Güvenlik Bariyerleri Deposu
- 9)Ayrıştırılmış Atık Depoları 10) Ahşap Palet Deposu 11) Kireç Deposu 12) Alçı deposu
- 13)Toz Yalıtım Malzemeleri Deposu 14)Kereste Deposu 15)Kalıp Yapım Atölyesi
- 16) İskele Demirleri Deposu 17) İşçi Soyunma Odası 18) İşçi Yemekhanesi 19) Bekçi Kulübesi

**Şekil 7.** Şantiye 5'e ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Murt, 2019)

**Figure 7.** Current and proposed site layout plan of construction site 5 (Murt, 2019)

Şantiye 6'da işçiler için soyunma odası ve yemekhane bulunmamaktadır. İşçilerin mola için kullanabilecekleri yeterli bir alan yoktur. Şantiye yaya-araç sirkülasyonu ayrılmamıştır. Bu durum iş güvenliği açısından problem oluşturmaktadır. Malzemeler dağınık bir şekilde konuşlandırılmış olup malzeme kullanılacağı yere taşınmaktadır. Bu durum şantiye içi sirkülasyonu yavaşlatmaktadır. Malzemeler korunaklı bir alanda muhafaza edilmediği için hava koşullarından etkilenmeleri olası görülmektedir. Şantiye sınırları içerisinde üretim alanı yoktur. Bütün malzemelerin aynı şekilde atılması ve hangi malzemelerin dönüştürülebilir olup olmadığının kontrol edilmemesi, atıkların yerlere atılması ve araçlarla uzaklaştırılması yapılan yanlış uygulamalardandır (Şekil 8).

Şantiye 6 için; şantiyede bulunmayan depoların eklenmesi, şantiyeye malzeme girişi için doğu yönünde sirkülasyonu rahatlatmak için ek bir giriş önerilmektedir. Bu giriş kontrollü sağlanacak olup sadece malzeme içindir. İşçilerin kendilerine ait bir yemek alanı bulunmadığı için yemekhanenin eklenmesi gerekmektedir. Ayrıca şantiyeye gelen malzemelerin yapıma uygun şekilde işlenmesi için çeşitli atölyelerin eklenmesi ve malzemelerin hava koşullarından etkilenmemesi için kapalı alanların eklenmesi, atıklar için geri dönüşüm kutuları, araçlar için doğu yönünden araç parkının eklenmesi, depoların, atölyelerin ve malzemelerin yerlerinin kümelenme olacak şekilde birbirleri ile doğrudan ilişkili gruplar halinde planlanarak yerleştirilmesi, önerilmektedir (Şekil 8).



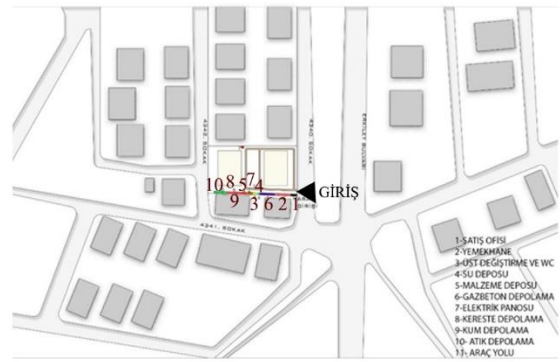
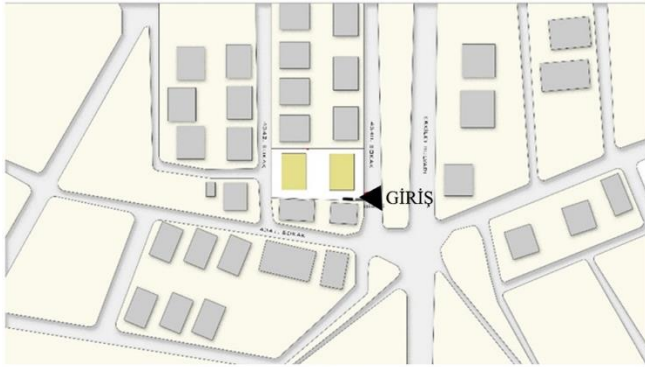
**Şekil 8.** Şantiye 6'ya ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Boyraz, 2019)

**Figure 8.** Current and proposed site layout plan of construction site 6 (Boyraz, 2019)

7. Şantiye alanında belirlenmiş bir araç yolu bulunmamaktadır. Şantiyede spesifik üretim alanları yoktur ve işçiler boş alanlarda üretim yapmaktadır. Bu durum da işi aksatmaktadır. Depolanması gereken malzemeler için gerekli depolama alanı bulunmamaktadır. İşçiler için yemekhane ve soyunma odaları yetersizdir. İşçilerin kullandığı tuvalet konum, malzeme ve kapasite bakımından konforsuzdur. Şantiyede kalıp işleri malzemeleri tekrar kullanılmak üzere depolanmaktadır. Atıklar türüne göre ayrıtılmamakta ve yakma ile imha edilmektedir. Su

temini için kullanılan hortumların korumasız şekilde dışarda olması sonucu, hortumların üzerinde oluşan hasarlar su kaybına neden olmaktadır. Yapı inşası sırasında yayılan gaz ve tozlar çevreye zarar vermektedir. Şantiyede atık depolama alanı bulunmamaktadır (Şekil 9).

Şantiye 7 için; su deposu, kum, gazbeton, atık gibi malzemeler için depolama yeri, araç sirkülasyon hattı, işçiler için yemekhane, wc ve soyunma odalarının eklenmesi öngörülmektedir (Şekil 9).



**Şekil 9.** Şantiye 7'ye ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Yolay, 2019)

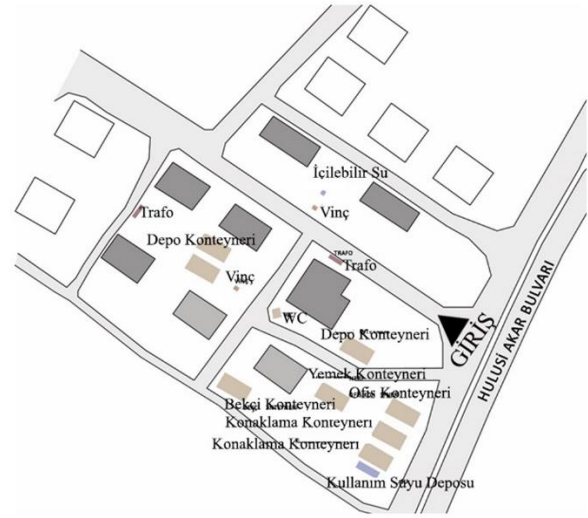
**Figure 9.** Current and proposed site layout plan of construction site 7 (Yolay, 2019)

Şantiye 8'de tuvaletlerin ofislere uzak konumlandırılmış olması kullanımını zorlaştırmaktadır. Şantiyede kullanılan araç yollarına eğim verilmediği tespit edilmiştir. Bu toprak kısımlarda yağmur yağdığı zaman su birikintileri oluşmaktadır. Şantiyede kullanılan elektrik panosu zeminden yeterince yükseltilmediği için yağışlı hava şartları için risk oluşturmaktadır. Şantiyede bulunan geçici ofis ve bekçi kulübesi şantiye merkezi dışında yer almaktadır. Ambar veya depolama için özel bir alan olmayıp şantiye dışında bu ihtiyaçlar

karşılanmaktadır. Şantiyeye birçok noktadan erişimin olması güvenliği zayıflatmaktadır. Şantiyede kullanılan malzeme atıkları hızlı ve nizami bir şekilde şantiye ortamından uzaklaştırılmamaktadır. Ancak şantiye aktivitelerini engellemeyecek şekilde istiflendiği tespit edilmiştir. Atıklardan tekrar kullanılabilir olanlar şantiyede tutulup kalan kısmı şantiyeden uzaklaştırılmaktadır ve şantiyenin kuzeybatısında bulunan parkın yapım aşamasında şantiyedeki hafriyatın bir kısmı kullanılmıştır (Şekil 10).

Şantiye 8 için; bekçi kulübesi ve şantiye ofisinin şantiyeye hâkim noktada konuşlandırılması, işçiler

için konaklama ve yemekhane birimlerinin eklenmesi önerilmektedir (Şekil 10).

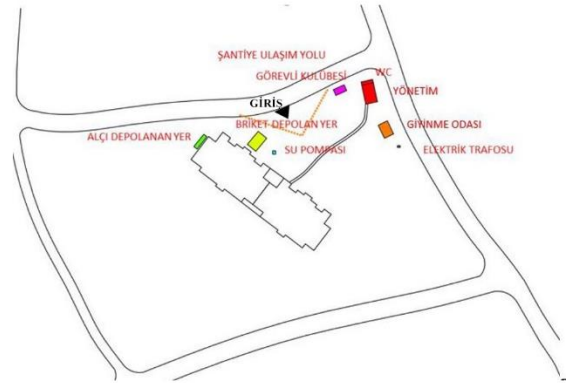
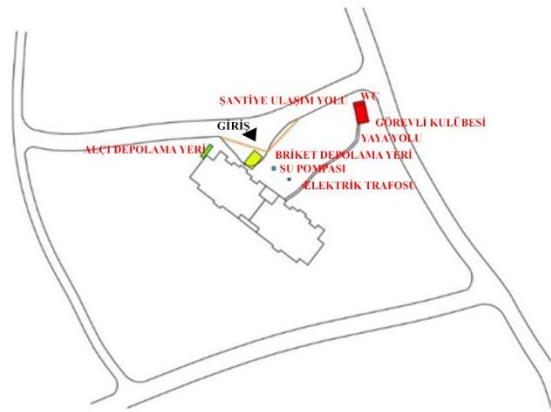


**Şekil 10.** Şantiye 8'e ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Karaaslan, 2019)

**Figure 10.** Current and proposed site layout plan of construction site 8 (Karaaslan, 2019)

Şantiye 9'da şantiye giriş çıkışını kontrol eden nokta oluşturulamamıştır ve şantiye çevresi bariyerlerle kapatılmamıştır. Yapı atıkları için toplama alanı bulunmamaktadır. Atıklar şantiye alanına dağılmış vaziyettedir. Atıkları ayrıştırma ve toplama işlemleri yapılmamaktadır (Şekil 11).

Şantiye 9' da elektrik trafosunun konum olarak daha güvenli alana alınması, şantiye girişine güvenlik biriminin konumlandırılması, işçilere ait giyinme alanının oluşturulması, şantiye alanının bariyerlerle çevrelenmesi gerektiği saptanmıştır (Şekil 11).



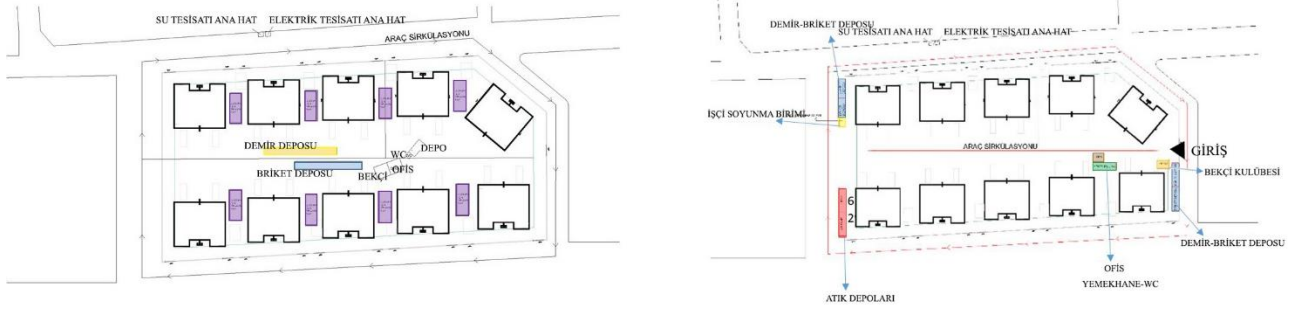
**Şekil 11.** Şantiye 9'a ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Keleş, 2019)

**Figure 11.** Current and proposed site layout plan of construction site 9 (Keleş, 2019)

10. Şantiye' de giriş çıkış hattı doğru oluşturulamamıştır. Şantiye çevresi bariyerlerle kapatılmamıştır. Depolama işlemlerindeki hatalar araç sirkülasyonunu engellemektedir. İşçiler için yemekhane bulunmamaktadır bu yüzden işçiler kendileri sahada veya blokların içerisinde yemek yapıp yemekte ya da dışardan karşılamaktadırlar. İşçiler için soyunma odası ve yapı atıkları için alan bulunmamaktadır. Geri dönüşümü olabilecek malzemelerin toplama alanı bulunmamaktadır.

Atıklar şantiye alanına dağılmış durumdadır ve atıkları ayrıştırma işlemi yapılmamaktadır (Şekil 12).

10. Şantiye' de depolama alanı sayısının artırılması ve ulaşım açısından iki farklı noktaya konumlandırılması, yemekhane biriminin eklenmesi, işçiler için soyunma odaları, hijyenik tuvaletler ve şantiye alanının bariyerlerle çevrilmesi gerekmektedir (Şekil 12).



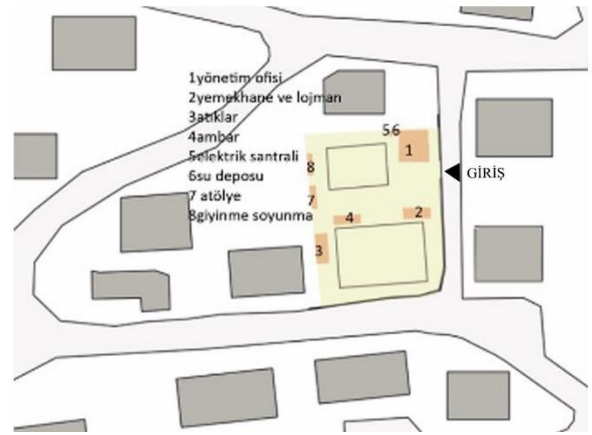
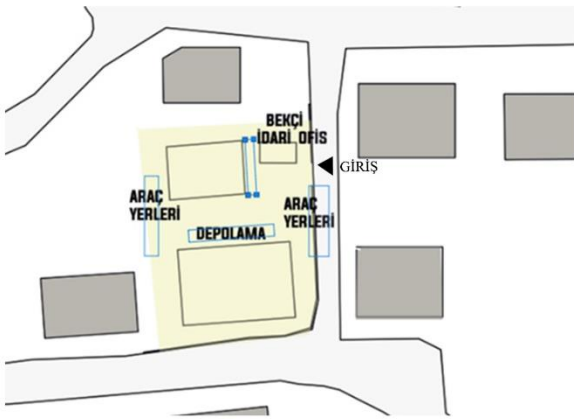
**Şekil 12.** Şantiye 10'a ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Arı, 2019)

**Figure 12.** Current and proposed site layout plan of construction site 10 (Arı, 2019)

Şantiye 11' de ana sirkülasyon hattı, işlerin yapıldığı alanla ve malzemelerin konumu ile iç içe bulunmaktadır. İşçilerin soyunma odası olarak kullandığı alan ise hijyenik ve uygun değildir. Yemekhane ve dinlenme alanı bulunmamaktadır. Arazi eğiminden dolayı büyük araçlar yük getirirken zorlanmaktadır. İdari büro olarak sadece bir birim bulunmaktadır ve burada şantiye şefiyle bekçi bir arada çalışmaktadır. Toplantı, evrak vb. durumlar için yeteri kadar alan bulunmamakta, evraklar şantiye şefinin odasında yer almaktadır. Tuvaletler, kullanım ve konum açısından uygun değildir. Depolama alanı ve istifleme koşulları uygun değildir. Şantiye eğimli bir arazide bulunduğu için temel kazılırken çıkan hafriyat; arazi eğimini azaltma çalışmalarında

kullanılmıştır. Şantiyede kullanılan ve kullanılmayan malzemeler, şantiyenin içinde dağınık bulunmaktadır. Bu durum atık ve kullanılacak malzemelerin karışmasına sebep olmaktadır. Atık maddeler tehlikeli ve düzensiz biçimde bırakılmaktadır (Şekil 13).

Şantiye 11' de şantiye içi yaya ve araç sirkülasyonunun birbirinden ayrılması, araçların yük getirirken zorlanmasından ve eğimden dolayı; araçlara yeterli manevra ve kullanım alanı düşünülmüş, işçiler için yemek yeme ve soyunma odalarının eklenmesi, tuvaletlerin şantiye ofisine yakın veya ek yapılan bir birim içinde hijyenik ve kullanıma uygun şekilde çözülmesi, depolama alanlarının sirkülasyonu aksatmayacak şekilde konumlandırılması önerilmektedir (Şekil 13).



**Şekil 13.** Şantiye 11'e ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Varol, 2019)

**Figure 13.** Current and proposed site layout plan of construction site 11 (Varol, 2019)

Şantiye 12'de atıkların düzenli olarak biriktiği yerde demir ve kalıp işleri yapılmaktadır. Demir imalatı sırasında bloğun batı duvarı zarar görmüş durumdadır. Şantiyede araç sirkülasyonu için yeterli alan bulunmamaktadır. Çimento stokları mevcutta hem işin yapıldığı cepheye hem de araç yolu üzerine konumlandırıldığı için araç sirkülasyonunu zorlaştırmaktadır. Şantiyede işçilerin kullanacağı tuvalet bulunmamaktadır. İşçilerin dinlenebileceği veya yemek yiyebileceği

bir alan bulunmamaktadır. Bu durum şantiye düzenini olumsuz etkilemektedir. İşçilerin soyunma veya dinlenme mekânları yoktur. Ana depo şantiyeden uzak olduğu ve şantiye alanı dar olduğundan malzemeler düzensiz depolanmıştır. Şantiye sirkülasyon hattı ve malzemeler iç içe olduğu için malzemelerin zarar görme riski bulunmaktadır. Şantiyedeki atıklar dağınık şekilde stoklanmaktadır. Malzemeler özelliklerine uygun korunmamaktadır. Demir ve kalıpların stoklandığı

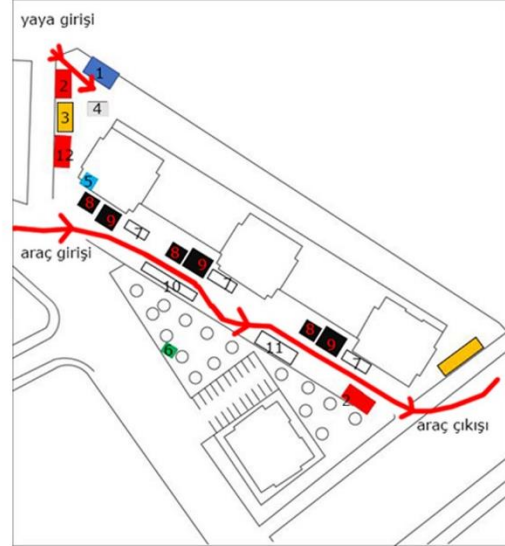
yerde yağmurdan korumak için bir önlem alınmamaktadır. Depolanacak olan atıklar uzaklaştırılacak atıklardan ayrıldığı için malzeme israfına neden olmaktadır (Şekil 14).

12. Şantiye’ de atıkların ve imalat alanı ayırımının yapılması, atıkların şantiye işleyişini etkilemeyecek, kolayca biriktirilip uzaklaştırılacak bir noktaya konumlandırılması, mevcut işte

kullanılmayan çimento yığınlarının zemin kattaki dükkanlara stoklanması, depo olarak kullanılan kulübenin işçiler için soyunma ve yemek alanı olarak kullanılması, kulübenin yanına tuvalet eklenmesi, imalat alanının yerinin belirlenmesi, araç sirkülasyonunun rahatlatılması, dükkanların önünün imalat alanı olarak kullanılması uygun görülmektedir (Şekil 14).



1-şantiye ofisi 2-bekçi kulübesi 3-Atık stoğu 4-imalat 5-su deposu 6-elektrik panosu 7-çimento stoğu 8-Taş stoğu 9-kum 10-mevcut çimento stoğu 11-mevcut çimento stoğu 12-depo 13- demir ve kalıp stoğu



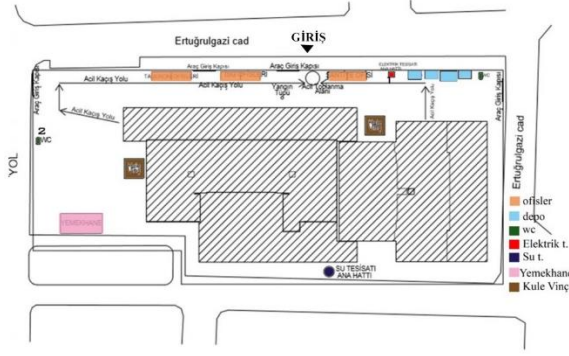
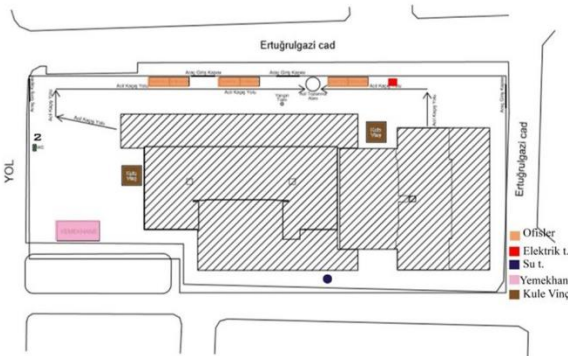
1-şantiye ofisi 2-bekçi kulübesi 3-Atık stoğu 4-imalat 5-su deposu 6-elektrik panosu 7-çimento stoğu 8-Taş stoğu 9-kum 10-mevcut çimento stoğu 11-mevcut çimento stoğu 12-depo 13- demir ve kalıp stoğu

**Şekil 14.** Şantiye 12’ye ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Taşpınar, 2019)  
**Figure 14.** Current and proposed site layout plan of construction site 12 (Taşpınar, 2019)

Şantiye 13’te yalıtım malzemeleri şantiyenin içinde depolanmaktadır. Elektrik tesisatının zemin üzerinde açıkta gitmesi tehlike oluşturmaktadır. Tuvalet sayısı yeterli değildir. Yapı elemanlarının üretimi için ayrı bir alan oluşturulmamıştır. Şantiyede enerji tasarrufu için düzenleme yapılmamıştır. Yapısal atıklar rastgele atılmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Geri dönüşümü

yapılabilecek malzeme toplanma alanı bulunmamaktadır (Şekil 15).

Şantiye 13’ te sirkülasyonu olumsuz etkilemeyecek konumlara kapalı depolama alanlarının eklenmesi, üretim için atölye eklenmesi, girişe tuvaletlerin eklenmesi, atıklar için geri dönüşüm kutularının eklenmesi uygundur (Şekil 15).



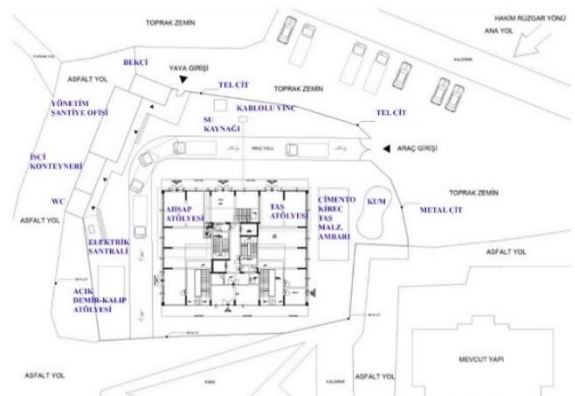
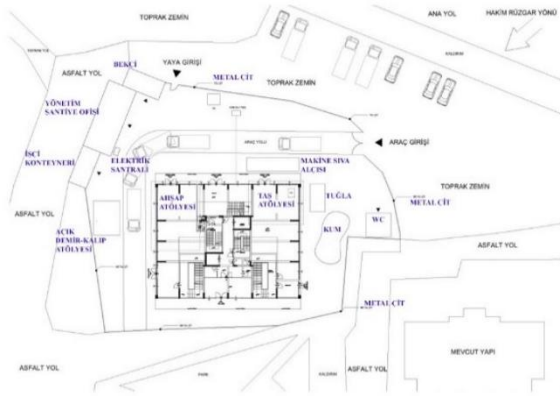
**Şekil 15.** Şantiye 13’e ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Keleş, 2019)  
**Figure 15.** Current and proposed site layout plan of construction site 13 (Keleş, 2019)



Şantiye 14’ te tuvaletler şantiyenin araç girişine yakın bir bölgede ve ofislere uzak olarak konumlandırılmıştır ve bu durum kullanıcıların tuvaletlere ulaşımını zorlaştırmıştır. Şantiyede kullanılan araç yolu eğimlidir. Şantiyede kullanılan elektrik panosu yerden yükseltilmeden direkt olarak toprak zemin üzerinde üst örtü olmadan konuşlandırılmıştır. Şantiyede bulunan geçici ofis ve bekçi kulübesinin su basman seviyesi üzerinde olmadığı ve toprak zemin üzerine taşlarla yükseltildiği tespit edilmiştir. Şantiyede kuru malzemelerin depolanması için ambar bulunmamaktadır. Şantiyedeki atıklardan geri

dönüştürülebilir olanlar ayrılarak ilgili yerlere teslim edilmektedir. Şantiye sahasında atıklar düzenli şekilde istiflenmemektedir (Şekil 16).

Şantiye 14 için, şantiye çevresinin bir kısmının tel çit ile çevrilmesi, elektrik trafosunun daha korunaklı bir yere çekilmesi, çimento-kireç- taş malzeme depo yerinin bir arada iken kum istif alanını ayrı bir yerde konumlandırılması, su kaynağının eklenmesi ve tuvaletlerin işçi konteynerine yakın yerde çözülmesi uygun görülmektedir (Şekil 16).



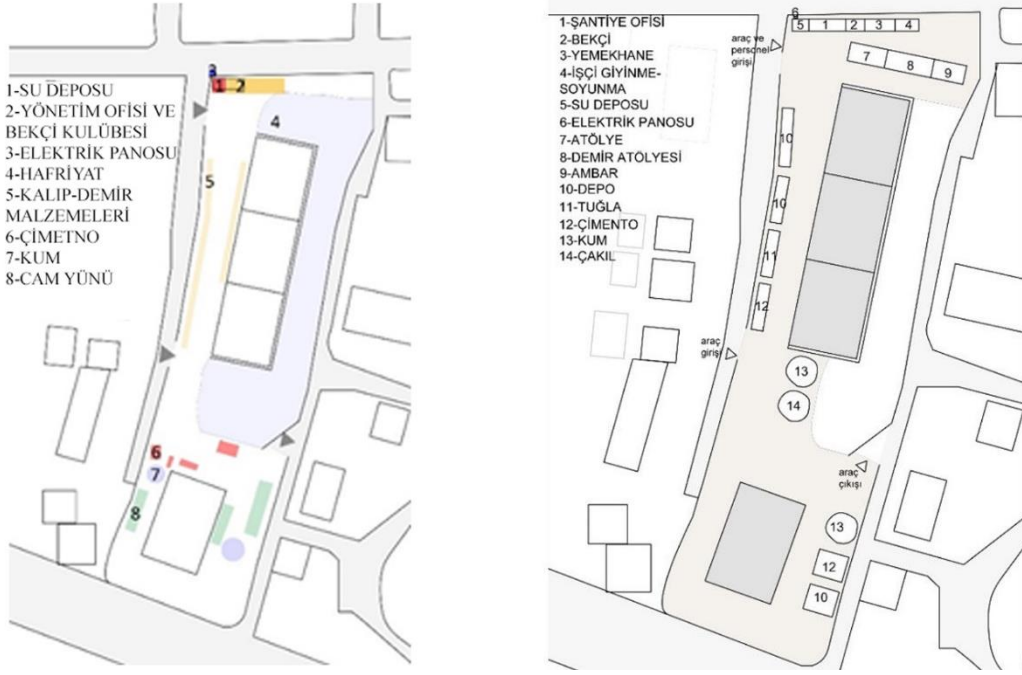
**Şekil 16.** Şantiye 14’e ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Kızılca, 2019)

**Figure 16.** Current and proposed site layout plan of construction site 14 (Kızılca, 2019)

Şantiye 15’ te araç yolu, yapılan işler ve malzemelerin depolandığı yer ile iç içe bulunmaktadır. Kalıp, kereste ve demir gibi kaba yapı malzemelerinin kış şartlarından korunmasını sağlayacak bir kapalı depo alanı planlanmamıştır. Çimento torbalarının depolanacağı korunaklı bir alan bulunmamaktadır. İşçilerin hijyenik, temizleneceği alan bulunmamaktadır. Soyunma odası olarak kullanılan alan inşaatın içinde ve temiz değildir. Yemek yenebilecek net bir alan bulunmamaktadır. İşçilerin mola zamanlarında kullanabileceği dinlenme alanı bulunmaktadır. Su deposunun üstündeki saçakların bazıları kırılmıştır. Depodan çıkan borular belli bir alana kadar yüzeyden gitmektedir ve bu durum kış mevsiminde suyun donma riskini artırmaktadır. Şantiyede kullanılan ve kullanılmayan malzemeler, şantiye içinde dağınık bulunmaktadır ve bu durum atık ve

kullanılacak malzemelerin karışmasına sebep olmaktadır. Depolanan kalıplar, keresteler, demir malzemeler yığılarak konulmuştur ve hava şartlarından korunması için bir önlem alınmamıştır (Şekil 17).

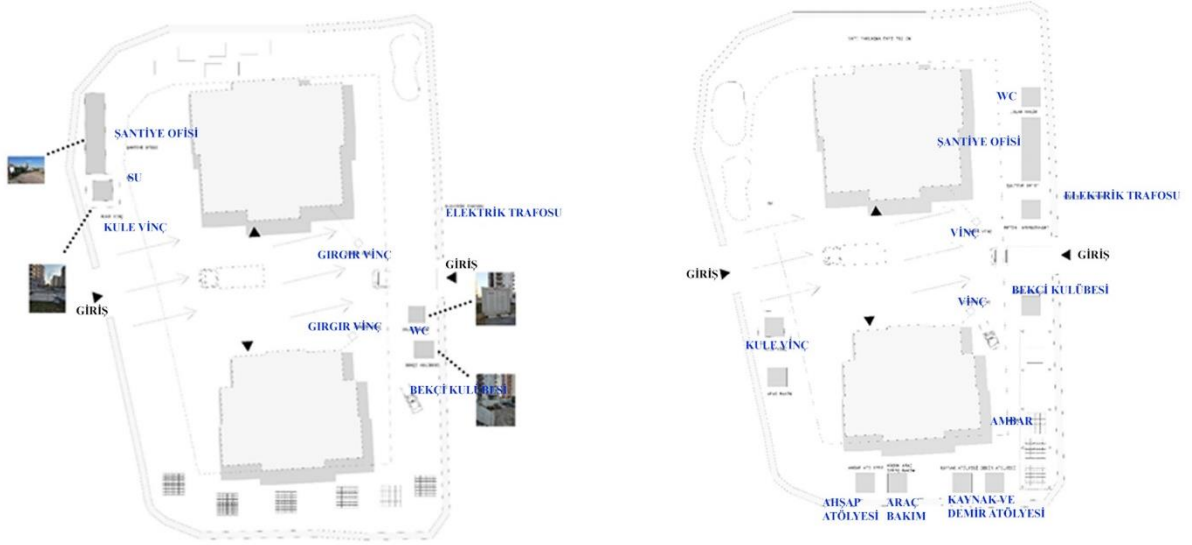
15. Şantiye’ de yaya ve araç sirkülasyonunun birbirinden ayrılması, açıkta bulunan su deposunun donmasını önlemek için korunaklı hale getirilmesi, malzeme depolama alanlarını ana sirkülasyonu bozmayacak şekilde çalışma alanının yakınlarında konumlandırılması, işçiler için soyunma odası, yemekhane ve sosyal alanların düşünülmesi, şantiyede A, B ve C bloklarının inşaatı sırasında kullanılmak üzere malzeme depolarına yakın atölyelerin eklenmesi önerilmektedir (Şekil 17).



**Şekil 17.** Şantiye 15'e ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Demir, 2019)  
**Figure 17.** Current and proposed site layout plan of construction site 15 (Demir, 2019)

16. Şantiye' de sirkülasyonda bazı kısımlarda kum ve malzeme bulunması sebebiyle sağlıklı dolaşım sağlanamamaktadır. Şantiyede atölye ve depo birimleri bulunmamaktadır. Şantiye ofisi ve bekçi kulübesi araç giriş-çıkışına hâkim noktada konuşlandırılmamıştır. Atıklar belirli bir alanda toplanmamıştır. Kum, su kaynağı ve çimentodan uzakta konumlandırılmıştır. Çimento kağıtları geri dönüşüme kazandırılmamakta ve atıklar türüne göre ayrıt edilmemektedir. Su temini için kullanılan hortumlarda hasar bulunmakta ve yapım sırasında yayılan gaz ve tozlar çevreye zarar vermektedir (Şekil 18).

Şantiye 16' de kule vincin iki yapının orta noktasına yakın bir kısımda çözülmüş araç gereç bakım atölyesiyle ilişkilendirilmesi, bekçi kulübesinin malzeme depolarına ve girişe hâkim konuşlandırılması, şantiye ofisinin beton laboratuvarı ve girişe uygun yerleştirilmesi, kumun suya ve yapılar göre konumlandırılması ve atıkların rahatça tahliye edilebileceği sirkülasyonların oluşturulması, demir, ahşap atölyeleri gibi birimlerin ise malzeme depoları ile birlikte konumlandırılması uygun görülmektedir. (Şekil 18).



**Şekil 18.** Şantiye 16'ya ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Servi, 2019)  
**Figure 18.** Current and proposed site layout plan of construction site 16 (Servi, 2019)

Şantiye 17' de sağlıklı bir yaya ve araç sirkülasyon hattı yoktur. Bu durum şantiye içindeki yolların düzensiz olmasına yol açmıştır. Getirilen malzemelerin belli bir düzen gözetilerek yapılmaması şantiyede bazı işlerin karışmasına, aksamasına ve kaosa neden olmaktadır. Getirilen malzemeler için şantiyede depolama alanı bulunmamaktadır. Alçı ve çimento torbaları zeminden yükseltilmemiş ve düzenli istiflenmemiştir. Şantiyede üretim alanları düşünülmemiş olup işçiler tarafından çalışma alanı oluşturulmuştur. Şantiyede işçiler için özel alanlar düşünülmemiş olup yemek yeme ve soyunma mekanları saha içinde yapımı tamamlanmış yerlerde gerçekleştirilmektedir. Tuvalet olarak bekçi kulübesi kullanılmaktadır. Şantiyede su deposu bulunmamakla birlikte kullanılan su, bahçedeki çeşmeden hortum aracılığıyla sağlanmaktadır. Şantiyede kum, su kaynağının hemen yanına değil uzağına yığılmıştır. Bu durum, şantiyede işin gecikmesine yol açmaktadır. Şantiyede elektrik panolarını birbirine bağlayan elektrik kabloları da zemin üzerinde açık halde

bulunmaktadır. Atıkların ayrıştırılması, gruplandırılması ve elenmesi gibi işlemler yapılmamaktadır. Bu durum hem çevreye zararlı madde olarak hasar vermekte hem de şantiye sirkülasyonu ve temizliği açısından sorunlara yol açmaktadır. Yapı malzemesi seçiminde sürdürülebilirlik göz önünde bulundurulmamaktadır (Şekil 19).

17. Şantiye' de malzeme depolama alanlarının eklenmesi, elektrik kablolarının zemin altından sirkülasyonunun sağlanması, su kaynağının açıkta bırakılmayacak şekilde düzenlenmesi, çalışanlar için lojman, yemekhane ve revirin eklenmesi, soyunma odalarının eklenmesi, şantiye içi yaya ve araç sirkülasyonunun birbirinden ayrılması, şantiye alanı kısıtlı bir arazi olduğundan malzeme giriş ve çıkışları buna uygun tasarlanması, şantiyede çalışma alanları (demir kesme ve bükme, ahşap kesme) için atölyelerin kurulması ve bu atölyelerin asıl işten uzak olmayacak şekilde malzeme depolarına yakın olarak eklenmesi önerilmektedir (Şekil 19).



**Şekil 19.** Şantiye 17'ye ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Aygün, 2019)

**Figure 19.** Current and proposed site layout plan of construction site 17 (Aygün, 2019)

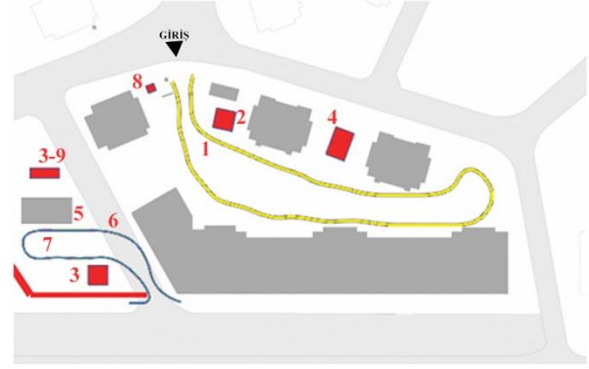
18. Şantiye' de güvenlik birimi eksiktir. Şantiye sınırları çevrilmemiştir. İşçiler için yemek alanı ve tuvalet bulunmamaktadır. Ahşap, demir, çimento gibi malzemelerin kategorilerine göre saklanabileceği depolama çözümleri, kapalı alan çalışmaları için atölye ve otopark bulunmamaktadır. Atıklar geri dönüştürülebilme potansiyellerine göre kategorize edilmemektedir. Geri dönüştürülebilir, yeniden kullanılabilir atıklar değerlendirilmemektedir. Hava şartlarına

maruz kalan malzemelerde; bozulmalar olmakta, bu da ekstra maliyete sebep olmaktadır (Şekil 20).

Şantiye 18 için; iş araçları ve özel araçların sirkülasyon hattının ayrı şekilde belirlenmesi önerilmektedir. Ayrıca atıklar için alanın eklenmesi, atölye ve otoparkın uygun yerlerde konuşlandırılması ve işçiler için yemekhanenin eklenmesi uygun görülmektedir (Şekil 20).



1-yönetim /satış ofisi 2-su deposu 3-su dağıtımı 4-elektrik panosu 5-2.giriş araç vs. 6-ana giriş 7-çimento depolama ve yapımı 8-işçi konteynırı 9-kalıp ve ahşap işleri 10-demir fayans vs. kesimi



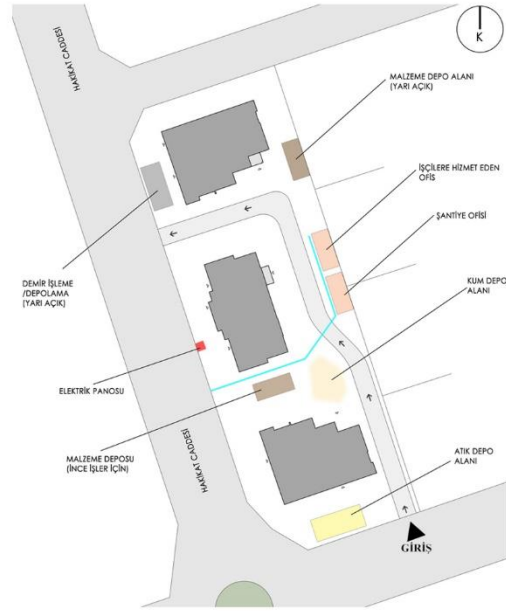
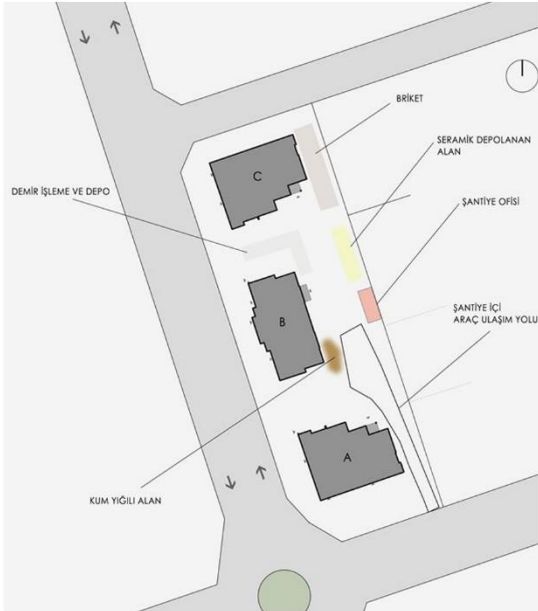
1.iş araçları sirkülasyonu 2.wc 3.depolama 4.yemekhane 5.atık alanı 6.özel araç sirkülasyonu 7.otopark 8.ana giriş ve güvenlik 9.atölye

**Şekil 20.** Şantiye 18'e ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Yılmaz, 2019)  
**Figure 20.** Current and proposed site layout plan of construction site 18 (Yılmaz, 2019)

Şantiye 19' da yönetim ofisi, ortak olarak kullanılacak tuvalet ve çalışanların kullanımına tahsis edilmiş dinlenme alanı bulunmamaktadır. Ulaşım ağı doğru işlememekte ve şantiye alanında araçların park edilebileceği otopark bulunmamaktadır. Şantiye içerisinde üretimin yapılabileceği yarı açık alanlar bulunmamaktadır. Şantiye alanında hafriyat yoktur ancak çalışmalar sonucu oluşan atıklar düzensiz bir şekilde bulunmaktadır. Şantiye alanı çevresi korunaklı bir biçimde kapatılmıştır. Yapı atıklarında herhangi bir ayrıştırma işlemi yapılmamaktadır. Hafriyat atığı

şantiye alanından uzaklaştırılmakta ve şantiye alanı içerisinde geri dönüşümü olmayan atıklar bulunmamaktadır (Şekil 21).

19. Şantiye için sonradan kullanılabilir malzemelerin depolanabileceği alanların ulaşım ağına yakın bir şekilde konumlandırılması, şantiye alanında tuvalet ve çalışanların kullanımına imkân sağlayan konteynerlerin şantiye alanı sınırları içerisinde ulaşım ağına ve şantiye alanına hâkim bir konumda planlanması gerekmektedir (Şekil 21).



**Şekil 21.** Şantiye 19'a ait mevcut ve öneri şantiye yerleşim planı (Adıyaman, 2019)  
**Figure 21.** Current and proposed site layout plan of construction site 19 (Adıyaman, 2019)

Yerinde inceleme ve gözlem yapılan 19 şantiyede yerleşim planı üzerinden ulaşım hattı, ofis binaları,

tuvalet, enerji hattı, depolama, üretim, otopark başlıkları altında değerlendirilmiştir. Bu başlıklar

da kendi içinde 3 gruba ayrılarak değerlendirme yapılmıştır. Alt başlıklar şu şekildedir; mevcut olma durumunu tanımlayan mevcudiyet, şantiye kapsamında yeterli olup olmadığının sorgulandığı yeterlilik ve şantiyenin işleyiş, tür ve boyutunu içeren uygunluk. Bu doğrultuda 19 şantiyenin çoğunluğunda ulaşım hattının bulunduğu fakat yeterli ve uygun olma konusunda eksikliklerin olduğu gözlenmiştir. Enerji hattının genellikle mevcut olduğu fakat uygun yapım konusunda

eksiklikler saptanmıştır. Tuvalet, depolama, üretim alanı birimleri ile ilgili mevcudiyet, yeterlilik ve uygunluk kapsamında çoğu şantiyeden olumsuz sonuçlar söz konusudur. Ofis binalarında mevcudiyet hakkında genel bir sorunla karşılaşılmasa da yeterlilik ve uygunluk bakımından aksaklıklar gözlenmiştir. Hem özel hem iş araçlarını kapsayan otopark ile ilgili ise ya tüm şartları sağladığı ya da tüm şartları sağlamadığı saptanmıştır (Tablo 2).

**Tablo 2.** Şantiye yerleşim planı analiz tablosu  
*Table 2. Site layout analysis table*

Şantiye Alanları	Ulaşım Hattı			Enerji Hattı			Tuvalet			Ofis Binaları			Depolama			Üretim Alanı			Otopark		
	Mevcudiyet	Yeterlilik	Uygunluk	Mevcudiyet	Yeterlilik	Uygunluk	Mevcudiyet	Yeterlilik	Uygunluk	Mevcudiyet	Yeterlilik	Uygunluk	Mevcudiyet	Yeterlilik	Uygunluk	Mevcudiyet	Yeterlilik	Uygunluk	Mevcudiyet	Yeterlilik	Uygunluk
Şantiye 1	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+
Şantiye 2	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
Şantiye 3	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-
Şantiye 4	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Şantiye 5	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+
Şantiye 6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+
Şantiye 7	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
Şantiye 8	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Şantiye 9	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+
Şantiye 10	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Şantiye 11	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+
Şantiye 12	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Şantiye 13	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+
Şantiye 14	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
Şantiye 15	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
Şantiye 16	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
Şantiye 17	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Şantiye 18	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Şantiye 19	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

İncelenen şantiyelerde atık yönetimi ile ilgili demir atığı, plastik atığı, hafriyat atığı, kalıp atığı (plywood hariç), kuruyan malzeme, el aletleri başlıkları altında analiz yapılmıştır. 19 şantiyeden 9'unda demir atığı, 9'unda plastik atığı, 9'unda

hafriyat atığı, 13'ünde kalıp atığı (plywood hariç), 8'inde kuruyan malzeme, 10'unda el aletleri atıklarının depolama alanının bulunduğu saptanmıştır (Tablo 3).

**Tablo 3.** Şantiye yerleşim planında atık malzemelerin depolanma durumu  
**Table 3.** Storage status of waste materials in the construction site layout plan

Şantiye Alanları	Demir atığı	Plastik atığı	Hafriyat atığı	Kalıp atığı (plywood hariç)	Kuruyan malzeme	El aletleri
Şantiye 1	-	-	-	+	+	+
Şantiye 2	-	+	+	-	+	+
Şantiye 3	+	-	+	+	+	-
Şantiye 4	-	+	+	+	-	+
Şantiye 5	-	-	-	+	-	-
Şantiye 6	+	+	-	+	+	+
Şantiye 7	+	-	-	+	-	-
Şantiye 8	-	+	+	+	-	+
Şantiye 9	-	-	-	-	-	-
Şantiye 10	+	+	-	+	+	+
Şantiye 11	+	+	+	-	-	-
Şantiye 12	+	-	+	-	-	-
Şantiye 13	-	+	-	+	-	-
Şantiye 14	-	+	-	+	-	+
Şantiye 15	+	-	+	-	-	-
Şantiye 16	+	-	+	+	+	+
Şantiye 17	+	-	-	+	+	+
Şantiye 18	-	+	-	+	+	+
Şantiye 19	-	-	+	-	-	-

## 5. Sonuç

### 5. Conclusion

Mimari yapının tasarım, projelendirme aşamalarının gerçekleştirildiği üretim alanı şantiyelerdir. Şantiyelerde çeşitli büyüklük ve işlevde işler gerçekleştiği için etkin planlanması gerekmektedir. İşin yapıldığı alanın çevresindeki malzeme ve araç-gereçler yapılan işin kapsamına bağlı olarak sürekli değişmektedir. Ayrıca işin yapıldığı her kademedeki işlerin değişimi gerçekleşmektedir. İşlerin sırasıyla yapılmasının yanı sıra eş zamanlı yapılan farklı işler bulunmakta ve farklı ekipler de koordineli olarak çalışmaktadır. Bu da aynı anda birden fazla organizasyonun kurgulanması demektir. Eğer süreçte problem yaşanır bu durum sürenin uzamasına sebep olmakta ve dolayısıyla maliyeti olumsuz etkilemektedir.

Çalışma Kayseri’de bulunan birbirinden farklı konum, işlev ve büyüklükte 19 şantiyede yerinde inceleme ve gözlem teknikleri kullanılarak yapılmıştır. Şantiyelerde gözlem yapılırken şantiye yerleşim planının güncel durumu, işçi ve yöneticilerin ihtiyaçları ve çalışma koşulları, atık malzeme ve gereçlerin alandan uzaklaştırılması ya da depolanma şartları gibi hususlar önemli olmuştur. Gözlemler fotoğraf, görsel ve yazılı kaynak ile desteklenmiştir. Şantiye yerleşim planında olması beklenen ulaşım ve enerji hattı,

tuvalet, ofis binaları, depolama, üretim alanı ve otopark alanlarının yeterli ve uygun olması bakımından da sorgulanmıştır. Bu doğrultuda; incelenen şantiye alanlarında zorunlu ihtiyaçlar mevcut olsa da sayı, kalite, boyut olarak yetersizdir. Ayrıca hem yeni gelen malzemelerin hem de inşa sırasında ve sonrasında ortaya çıkan atıkların depolanması için korunaklı alanların bulunmadığı, depolamanın şantiyedeki boş alanlarda yapıldığı saptanmıştır. Yapılan bu incelemelerin ardından öneri şantiye yerleşim planları geliştirilmiş ve görsellerle desteklenmiştir.

Şantiyelerde kullanılan ahşap, demir, beton gibi birbirinden farklı malzemeler geri dönüştürülebilir ve dönüştürülemez olarak ayrılmaktadır. Şantiye alanında işlenip ya da direkt olarak tekrar kullanılabilir malzemelerin saptanması sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Malzemede kurgulanan sürdürülebilirlik yapının da sürdürülebilir olmasını sağlamaktadır. Bu kapsamda artan ya da atık olan malzemelerin şantiyeden verimli ve etkin şekilde uzaklaştırılması ya da şantiyede kullanılması beklenmektedir. Çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda öneri şantiye planları üretilmiş ve görselleştirilmiştir. Bu kapsamda şantiye düşey yerleşiminin şantiye veriminde etkin olarak düzenlenmesi, yatay yerleşimde ise araç ve yaya ayırımının yapılması, atık toplama ve depolama birimlerinin eklenmesi, çalışanlar için tuvalet ve

soyunma odalarının konumlandırılması, malzeme işleri için atölyelerin birbiri ile doğrudan ilişkili olarak eklenmesi, iş araçları manevraları için yeterli alanların düzenlenmesi ve atıklar için geri dönüşüm üniteleri önerilmektedir.

Sonuç olarak şantiyeler üretim alanı olduğundan şantiye yerleşiminin düşünülmüş bir plan üzerinden oluşturulması şantiyede işlemlerin daha düzenli ve sistematik şekilde ilerlemesine olanak tanımaktadır. Ayrıca şantiyelerde geri dönüşümün sağlanması çevre açısından önem arz etmektedir. Çalışma ile, incelenen farklı tip şantiyelerde yanlış uygulamaların, geliştirilen önerilerin başka şantiyeler için şantiye yerleşiminin planlanması ve atık yönetimi bakımından örnek teşkil etmesi ve yanlışların düzeltilmesi hedeflenmektedir.

### Teşekkür

#### Acknowledgement

Erciyes Üniversitesi Mimarlık Fakültesi 2019-2020 Güz Yarıyılı Eğitim-Öğretim Dönemi MİMS90 Şantiye Yönetimi dersi öğrencileri; Sena Keleş, Cansu Büken, Esra Ateşoğlu, Elif Aygün, Ufuk Servi, Burcu Boyraz, Sevim Demir, Ahmet İsmail Kızılca, Mehmet Gürbüz, Sena Arı, Mehmet Özkebabçı, Nimet Dinçel, Şemsigül Keleş, Güldane Varol, Yusuf Yolay, Ecem Murt, Ahmet Asım Karaaslan, Verda Taşpınar, Niran Yılmaz, Furkan Adıyaman' a katkılarından dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

### Yazar katkısı

#### Author contribution

Araştırmacıardan Parlak Biçer; makale fikrinin oluşturulması, makalenin düzenlenmesi, ilerleyişinin denetlenmesi, ilgili tabloların/bulguların ve sonuç kısmının değerlendirilmesi hususunda (%50 oranında) katkı sunmuştur. Karaaslan ise, literatür verilerin elde edilmesi, ilgili tabloların/bulguların üretilmesi, sonuç kısmının şekillendirilmesine yönelik (%50 oranında) katkı sunmuştur.

### Etik beyanı

#### Declaration of ethical code

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

### Çıkar çatışması beyanı

#### Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### Kaynaklar

#### References

- Adıyaman, F. (2019). *Furkan Adıyaman kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Arı, S. (2019). *Sena Arı kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Ateşoğlu, E. (2019). *Esra Ateşoğlu kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Aygün, E. (2019). *Elif Aygün kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Atık Yönetimi Yönetmeliği (2015). *T.C. Resmî Gazete*. Erişim adresi <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150402-2.htm>.
- Boyraz, B. (2019). *Burcu Boyraz kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Büken, C. (2019). *Cansu Büken kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Demir, S. (2019). *Sevim Demir kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Dinçel, N. (2019). *Nimet Dinçel kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- El-Rayes, K., & Said, H. (2009). Dynamic site layout planning using approximate dynamic programming. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 23(2), 119-127. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2009\)23:2\(119\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2009)23:2(119))
- Gülakan, E. (2014). *Yüksek yapılarda uygulanan yapım teknolojilerinin irdelenmesi ve sorunların ortaya konması* [Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Gürbüz, M. (2019). *Mehmet Gürbüz kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- He, K.Y., & Wu, I.C. (2012). Dynamic simulation and visualization for site layout planning, *29th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, Eindhoven, Netherlands. <https://doi.org/10.22260/ISARC2012/0008>
- Karaaslan, A. (2019). *Ahmet Asım Karaaslan kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.

- Keleş, S. (2019). *Sena Keleş kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Kızılca, İ. (2019). *İsmail Kızılcam kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Keleş Ş. (2019). *Şemsigül Keleş kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Kusiak, A., & Heragu, S.S. (1987). The facility layout problem. *European Journal of Operational Research* 29(1987), 229-251.
- Limoncu, S., & Özkun, Ü. (2008). *Yapısal atık oluşumu ve atık yönetimi. Mimarlıkta Malzeme Dergisi* 7(22), 30-34.
- Murt, E. (2019). *Ecem Murt kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Özkebabçı, M. (2019). *Mehmet Özkebabçı kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Sanad, H.M., Ammar, M.A., & Ibrahim, M.E. (2008). Optimal construction site layout considering safety and environmental aspects. *Journal of Construction Engineering and Management* 134(7), 536-544. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2008\)134:7\(536\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:7(536))
- Schultmann, F. (2005). "Deconstruction In Germany" (Publication 300). Deconstruction and Material Reuse An International Overview CIB Report. <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB1287.pdf>
- Servi, U. (2019). *Ufuk Servi kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Su, B.A., & Aslan, D. (1997). *Tesis planlama*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:201.
- Taşpınar, V. (2019). *Verda Taşpınar kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Tate, D.M., & Smith, A.E. (1995). Unequal-area facility layout by genetic search. *IIE Transactions* 27(4), 465-472.
- Tommelein, I.D., Levitt, R.E., Hayes-Roth, B., & Confrey, T. (1991), Sightplan experiments: alternate strategies for site layout design. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 5(1), 42-63. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(1991\)5:1\(42\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1991)5:1(42))
- Thormark, C., (2001). *Recycling potential and design for disassembly in Buildings*. [Yüksek Lisans Tezi, Lund Üniversitesi, Lund Teknoloji Enstitüsü].
- Varol, G. (2019). *Güldane Varol kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Vol Yapı (2019). *Proje ofis arşivi*. Kayseri.
- Yolay, Y. (2019). *Yusuf Yolay kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Yılmaz, N. (2019). *Niran Yılmaz kişisel fotoğraf arşivi*. Kayseri.
- Zouein, P.P., & Tommelein, I.D. (1999). Dynamic layout planning using a hybrid incremental solution method. *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(6), 400-408. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1999\)125:6\(400\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:6(400))



## YAZAR REHBERİ

### 1. KAPSAM ve GENEL BİLGİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi (GUFBD), 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" doldurulup bütün yazarlar tarafından imzalanmalıdır. Yayın ile ilgili işlemler bu formun tesliminden sonra başlar. Bu formun farklı kopyaları başka şehirlerde yaşayan yazar(lar) tarafından ayrı ayrı imzalanıp gönderilebilir. 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 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 %20 den az olmalı ve tek bir kaynaktan ise %4 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. Ön inceleme 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 Dergisi” dergisi ve web sayfasında yayınlamasına ilaveten makalenin tamamı veya bir kısmının yasal olarak çoğaltılması ve dağıtılması hakkını Gümüşhane Üniversitesi’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 Tablolarla 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 Tablolarla 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 GUFBD makale şablonu dosyasını dikkate alarak yayınlarını hazırlamaları ve gerekli olan diğer belgelerle birlikte sisteme yüklemeleri gerekmektedir.

