



e-ISSN: 2149-3367

e-ISSN: 2149-3367

CİLT / VOLUME: XXI

SAYI / NUMBER: 6

ARALIK / DECEMBER 2021

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Ahmet Necdet Sezer Kampüsü
Fen Bilimleri Enstitüsü
AFYONKARAHİSAR
Tel: 444 03 03 / 1460-1470
Belgegeçer: 0 272 218 14 62
E-posta: fmbd@aku.edu.tr

Afyon Kocatepe Üniversitesi FEN ve MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ

Afyon Kocatepe University
Journal of Science and
Engineering



<http://fmbd.aku.edu.tr>

<http://fmbd.aku.edu.tr>

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN VE MÜHENDİSLİK
BİLİMLERİ
DERGİSİ**

*Afyon Kocatepe University
Journal of Science and Engineering*

Cilt / Volume 21
Sayı / Number 6

e – ISSN: 2149-3367

ARALIK 2021

DECEMBER 2021

Derginin Amacı ve İÇeriği

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (AKÜ FEMÜBİD), fen ve mühendislik bilimleri alanlarındaki güncel gelişmeleri takip etmek, meslek kuruluşları ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişmelerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda nitelikli bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, özgün bilimsel araştırmalar ile uygulama çalışmalarına yer veren bir dergidir. Dergide, fen ve mühendislik bilimlerinde yapılmış deneysel ve teorik ilerlemeleri içeren bilimsel ve özgün araştırma makalesi türündeki çalışmalara yer verilir.

Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi; Afyon Kocatepe Üniversitesi tarafından 1999'dan bu yana yılda 2 sayı (Haziran ve Aralık) Türkçe veya İngilizce olarak hazırlanan çalışmaları yayımlanan, bilimsel ve hakemli bir dergidir.

Dergimizde makale değerlendirme sürecinin daha şeffaflaştırılması ve hızlandırılması için Şubat 2013 itibarıyla online makale değerlendirme ve takip sistemi uygulamaya alınmıştır.

Ocak 2015 itibaren dergimiz; yayımlanma süreci ile yazarlara ve gerekse yapılan çalışmalara pratik ulaşma imkânları nedeniyle okuyuculara birçok avantajlar sağlayan; elektronik dergi (e-ISSN: 2149-3367) olarak yılda 3 sayı (Nisan, Ağustos ve Aralık) Türkçe ve İngilizce makaleleri kabul edecek ve çift taraflı kör hakemlik esasına göre en az iki hakemli olarak değerlendirilmektedir. Makale göndermek isteyen yazarlarımız, dergi sayfamızdan (<https://fenbildergi.aku.edu.tr/> yada <https://dergipark.org.tr/tr/pub/akufemubid>) kayıt yaptırarak, özgün bilimsel makalelerini çevrimiçi olarak gönderebilir ve süreci takip edebilirler. Özellikle lisansüstü tezlerden hazırlanan yayınlar veya bu tezlerin bir alt çalışması olarak yapılan özgün bilimsel çalışmalar teşvik edilmektedir.

Ocak 2020 yılından itibaren dergimiz; yılda 6 sayı (Şubat, Nisan, Haziran, Ağustos, Ekim ve Aralık) olmak üzere özgün araştırma makalelerini kabul etmektedir.

Dergimizde yayımlanan makaleler izin alınmaksızın başka bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Makalelerin bir kısmı veya tamamı dergimiz kaynak gösterilmeden kullanılamaz.

Dergimize hem hakem hem de yazar olarak katkılarınızı beklemekteyiz. Dergimize olan desteğiniz için şimdiden teşekkür eder, çalışmalarınızda başarılar dilerim.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ
Afyon Kocatepe University
Journal of Science and Engineering

EDİTÖR / EDITOR-IN-CHIEF

Tamer BAYBURA, Survey Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: tbaybura@aku.edu.tr

ALAN EDİTÖRLERİ / EDITORIAL BOARD

Afife Binnaz HAZAR, Metallurgy and Materials Engineering, Yıldız Teknik University, (Turkey)

e-mail: afife.hazar@gmail.com

Ahmet YILDIZ, Geological Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: ayildiz@aku.edu.tr

Atilla EVCİN, Material Science and Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: evcin@aku.edu.tr

Bojan Zlender, Civil Engineering, University of Maribor, (Slovenia)

e-mail: bojan.zlender@um.si

Cevat İNAL, Survey Engineering, Konya Teknik University, (Turkey)

e-mail: cinal@ktun.edu.tr

Fatih Onur HOCAOĞLU, Electrical Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: fohocaoglu@gmail.com

Hüseyin Ali YALIM, Physics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: hayalim@aku.edu.tr

Hüseyin BAYRAKÇEKEN, Automotive Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: bceken@aku.edu.tr

İbrahim EROL, Chemistry, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: ierol@aku.edu.tr

İsmail Sedat BÜYÜKSAGIŞ, Mining Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: sbsagis@aku.edu.tr

İsmail ZORLUER, Civil Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: izarluer@aku.edu.tr

Meltem DİLEK, Chemical Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)

e-mail: mdilek@aku.edu.tr

Muhittin BAŞER, Mathematics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: mbaser@aku.edu.tr

Mustafa YILDIZ, Molecular Biology and Genetics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: mustafa_yildizus@yahoo.com

Mustaque Hossain, Civil Engineering, Kansas State University, (USA)
e-mail: mustak@k-state.edu

Ramazan ŞEVİK, Food Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: ramazansevik03@yahoo.com

Regita Bendikiene, Department of Production Technologies, Kaunas University of Technology,
(Lithuania)
e-mail: regita.bendikiene@ktu.lt

Sinan SARAÇLI, Statistics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: ssaracli@aku.edu.tr

Şükrü TALAŞ, Metallurgy and Materials Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: stalas@aku.edu.tr

Uçman ERGÜN, Biomedical Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: uergun@aku.edu.tr

Yüksel OĞUZ, Electrical Electronics Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: yukseloguz@aku.edu.tr

ADRES/ADDRESS:

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Ahmet Necdet Sezer Kampusu, 03200, AFYONKARAHİSAR
Telefon: 444 03 03 / 1460-1470
Belgegeçer: 0 272 218 14 62
e-posta: fmbd@aku.edu.tr

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

FEN BİLİMLERİ / SCIENCE

BİYOLOJİ / BIOLOGY (10)

Araştırma Makalesi / Research Article Çelikhan ve Yakın Çevresinin (Adıyaman/Türkiye) Flora ve Vejetasyonu Üzerine Araştırmalar The Studies on the Flora and Vegetation of Çelikhan Around (Adıyaman/Turkey) Ahmet Zafer TEL, Murat TAK	061001 (1259-1282)
Araştırma Makalesi / Research Article MgO Nanopartiküllerinin <i>Drosophila melanogaster</i> Üzerindeki Davranışsal Toksisitesinin Değerlendirilmesi Behavioral Toxicity Evaluation of MgO Nanoparticles on <i>Drosophila melanogaster</i> Ayşen Yağmur KURŞUN, Burçin YALÇIN, Merve GÜNEŞ, Ghada TAGORTİ, Bülent KAYA	061002 (1283-1294)
Araştırma Makalesi / Research Article Meme Kanseri (MCF-7) Hücrelerinde Krosinin İnflamasyon ve Oksidatif Stres Aracılı Apoptoza Etkileri Effects of Crocin on Inflammation and Oxidative Stress Mediated Apoptosis in Breast Cancer (MCF-7) Cells Ömer HAZMAN	061003 (1295-1305)

FİZİK / PHYSICS (11)

Araştırma Makalesi / Research Article Spin Kaplama Yöntemi ile Hazırlanan Cu Katkılı ZnO Nanoyapılı İnce Filmlerin Elektrokimyasal, Optik ve Morfolojik Karakterizasyonları Electrochemical, Optical and Morphological Characterizations of Cu Doped ZnO Nanostructure Thin Films Prepared by Spin Coating Method Özlem YAĞCI	061101 (1306-1314)
---	---------------------------

KİMYA / CHEMISTRY (12)

Araştırma Makalesi / Research Article Tiyazol Türevlerinin Glutasyon Redüktaz Üzerindeki İnhibitör Etkilerinin Belirlenmesi Determination of Inhibitory Effects of Thiazole Derivatives on Glutathione Reductase Arzu ÖZTÜRK KESEBİR	061201 (1315-1323)
--	---------------------------

MATEMATİK & İSTATİSTİK / MATHEMATICS & STATISTICS (13)

Araştırma Makalesi / Research Article Sabit Ortalama Eğrilikli Bishop Çatılı Tubular Yüzeylerin Enerjileri Energies with Constant Mean Curvature of Tubular Surfaces by Bishop Frame Filiz ERTEM KAYA	061301 (1324-1329)
Araştırma Makalesi / Research Article Sezgisel Bulanık WASPAS Yöntemi ve Depo Yeri Seçimi Problemi Intuitionistic Fuzzy WASPAS and Warehouse Location Selection Problem Nihan TIRMIKÇIOĞLU	061302 (1330-1342)

MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ / ENGINEERING

BİLGİSAYAR & BİLİŞİM / COMPUTER & INFORMATICS (51)

Araştırma Makalesi / Research Article Optimizasyon Yöntemlerinin Süper Çözünürlük Üzerine Katkı Analizi Contribution Analysis of Optimization Methods on Super-Resolution Yıldıray ANAGÜN, Şahin IŞIK	065101 (1343-1352)
---	---------------------------

HARİTA, MİMARLIK & ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA / MAP, ARCHITECTURE & CITY AND REGIONAL PLANNING (55)

Araştırma Makalesi / Research Article Antarktika'da Küresel İklim Değişikliği İzleme için GNSS İstasyon Tasarımı: TUR1 ve TUR2 GNSS İstasyonlarının 4. Ulusal Antarktika Bilim Seferi'nde Antarktika Horseshoe Adası'na Kurulumu GNSS Station Design for Global Climate Change Monitoring in Antarctica: Installation of TUR1 and TUR2 GNSS Stations on Horseshoe Island in Antarctica During the 4th Turkish Antarctic Science Expedition Mahmut Oğuz SELBESOĞLU, Hasan Hakan YAVAŞOĞLU, Mustafa Fahri KARABULUT, Hüseyin Ayhan YAVAŞOĞLU, Hüseyin Günhan ÖZCAN, Özgün OKTAR, Burcu ÖZSOY, Himmet KARAMAN, Mustafa Ersel KAMAŞAK, Vahap Engin GÜLAL	065501 (1353-1365)
--	---------------------------

<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Afyon Akşehir Grabeninde Jeodezik Yamulma Alanları ile b Parametresi Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi</p> <p>The Determination of Relations between Geodetic Strain Field and b Parameter in Afyon Akşehir Graben</p> <p>Tolga TOYDEMİR, İbrahim TİRYAKİOĞLU, Tamer BAYBURA, Mehmet Ali UĞUR, Halil İbrahim SOLAK</p>	<p>065502 (1366-1376)</p>
<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>GPS/Galileo PPP-AR ve PPP Yöntemlerinin Doğruluklarının Gözlem Süresi ve Uydu Kombinasyonları Açısından İncelenmesi</p> <p>Investigating the Accuracy of GPS/Galileo PPP-AR and PPP Methods In Terms of Observation Duration and Satellite Combinations</p> <p>Barış KARADENİZ, Mert BEZCİOĞLU, Ömer Faruk BİLGİN, Cemal Özer YİĞİT</p>	<p>065503 (1377-1392)</p>
<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>TUSAGA-Aktif İstasyonlarındaki Meteorolojik Hava Olaylarının Hassas Nokta Konumlamaya Etkisi</p> <p>The Effect of Meteorological Weather Events on Precise Point Positioning at TUSAGA-Active Stations</p> <p>Burhaneddin BİLGİN, Sercan BÜLBÜL, Cevat İNAL</p>	<p>065504 (1393-1403)</p>

İNŞAAT & ULAŞTIRMA / CIVIL ENGINEERING & TRANSPORTATION (56)

<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Pamuk-Sentetik Bileşenli Lif Katkısı ve Genleştirme Ajanı Miktarlarının Otoklavsız Gazbetonun Teknik Özelliklerine Etkileri</p> <p>The Effects of Cotton-Synthetic Component Fiber Additive and Expansion Agent Amounts on the Technical Properties of Non-Autoclaved Aerated Concrete</p> <p>Şeyma Pınar ÖZCAN, Lütfullah GÜNDÜZ</p>	<p>065601 (1404-1423)</p>
<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Su Dağıtım Şebekelerindeki Fiziki Kayıpların Önlenmesinde SCADA'nın Önemi: ASKİ Örneği</p> <p>Importance of SCADA in the Prevention of Real Losses in Water Distribution Networks: A Case Study ASKİ</p> <p>Mehmet SONGUR, Ahmet DABANLI, Burcu YILMAZEL, Müzeyyen Anıl ŞENYEL KÜRKCÜOĞLU</p>	<p>065602 (1424-1433)</p>

<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Katlı Kavşak Düzenleme Önerilerinde Simülasyon Programı Kullanım Sürecinin İrdelenmesi</p> <p>Investigation of Simulation Program Usage in Interchange Design Alternatives</p> <p>Burak ŞİŞMAN, Gürcan SARISOY, Yavuz DELİCE</p>	<p>065603 (1434-1452)</p>
---	----------------------------------

KİMYA & METALURJİ VE MALZEME / CHEMISTRY & METALLURGY AND MATERIALS (57)

<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Çölyak Hastaları İçin Meşe Palamudu Meyvesinden Glütensiz Diş Macunu Elde Edilmesi ve Analizi</p> <p>Obtaining and Analysis Of Gluten-Free Toothpaste From Acorn For Celiac Patients</p> <p>Öznur YAŞA ŞAHİN, Hande KAMAL, Azra Melek YAŞAR, Ece Şule KAYA</p>	<p>065701 (1453-1459)</p>
---	----------------------------------

MADEN & JEOLJİ / MINES, & GEOLOGICAL (58)

<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Emet Bor Üretim Tesisleri Atıklarının Lityum İçeriğinin İncelenmesi</p> <p>Investigation of Lithium Content of Emet Boron Production Plants Wastes</p> <p>Hacer ŞENSÖZ, Zehra Ebru SAYIN, Mehmet SAVAŞ, Yunus ERDOĞAN</p>	<p>065801 (1460-1469)</p>
<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile Kuraklık İndekslerinin Eğilim Analizi: Akşehir Örneği</p> <p>Trend Analysis of Drought with Standardized Precipitation Index: A Case Study of Akşehir</p> <p>Erhan ŞENER</p>	<p>065802 (1470-1484)</p>
<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Demirçevre-Sadıkbey (Afyonkarahisar) Arasındaki Yerleşim Alanın Jeolojik-Jeoteknik Özellikleri</p> <p>Geological-Geotechnical Characteristics of the Settlement Area Between Demirçevre-Sadıkbey (Afyonkarahisar)</p> <p>Halil İbrahim ACAR, Ahmet YILDIZ, Mahmut MUTLUTÜRK</p>	<p>065803 (1485-1496)</p>
<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Hidrolik Çatlatma Uygulamaları için Gerçek Üç Eksenli Yeraltı Basınç ve Sıcaklık Simülasyon Hücresi Tasarım ve Üretimi</p> <p>Design and Production of True Triaxial Underground Compression and Heat Cell for Hydraulic Fracturing Applications</p> <p>Feyzullah Ekrem ÇONKAR, Ahmet YILDIZ</p>	<p>065804 (1497-1508)</p>

Araştırma Makalesi / Research Article

Çelikhan ve Yakın Çevresinin (Adıyaman/Türkiye) Flora ve Vejetasyonu Üzerine Araştırmalar**Ahmet Zafer TEL^{1*}, Murat TAK²**¹ İğdir Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, 76100 İğdir, TÜRKİYE² İğdir Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarım Bilimleri Anabilim Dalı, 76100 İğdir, TÜRKİYE*Sorumlu Yazar: e-posta: ahmetzaferTEL@yahoo.com, zafer.tel@igdir.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1204-3839>; takmurat02@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8929-0806>

Geliş Tarihi: 01.06.2021

Kabul Tarihi: 16.12.2021

Öz

Bu çalışma 2011-2020 tarihleri arasında Adıyaman (Türkiye) ilinin Çelikhan ilçesi ve yakın çevresinin flora ve vejetasyon yapısının incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Alanda 79 familyaya ait 329 cins ve 867 takson tespit edilmiştir. Taksonlardan 2 tanesi Pteridophyta bölümüne, 864 takson ise Spermatophyta bölümüne aittir. Endemik takson sayısı 139 (%16)'dur. Fitocoğrafik bölgeler içindeki taksonların dağılımı şu şekildedir: İnan-Turan elementi 220 takson (%25,4), Akdeniz elementi 86 takson (%9,9) ve Avrupa-Sibirya elementi 31 takson (%3,6)'dur. Takson sayısı bakımından en büyük ilk 10 familya sırasıyla; Asteraceae (102), Fabaceae (85), Lamiaceae (62), Caryophyllaceae (57), Brassicaceae (54), Poaceae (47), Boraginaceae (40), Rosaceae (39), Rubiaceae (28) ve Apiaceae (26)'dir. Takson sayısı bakımından en büyük ilk 11 cins sırasıyla; *Astragalus* (28), *Silene/Allium* (16), *Veronica/Euphorbia/Galium* (13), *Minuartia* (11), *Alyssum/Onosma/Asperula/Trifolium* (10)'dur. Ulubaba Dağında bulunan *Rheum telianum* ilçim ve Akdağ'da bulunan *Allium dönmezii* Mutlu & Karakuş taksonları bilim dünyası için yeni takson olarak kayıtlara geçmiştir. Çat Baraj Gölü Havzasında yapılan vejetasyon çalışması sonuçları ile floristik listesi ilk defa bu çalışmada verilmiştir. Araştırma alanında Braun-Blanquet metoduna göre yapılan vejetasyon çalışmalarında 190 örnek parsel değerlendirilmiş ve bilim dünyası için yeni 19 bitki birliğinin varlığı ortaya konmuştur. Bu birliklerden 6 tanesi orman ve çalı, 13 tanesi step ve alpin step vejetasyon tipine aittir.

Anahtar kelimelerFlora; Vejetasyon;
Taksonomi;
Sintaksonomi;
Çelikhan; Adıyaman**The Studies on the Flora and Vegetation of Çelikhan Around (Adıyaman/Turkey)****Abstract**

This study was carried out between 2011 and 2020 in order to examine the flora and vegetation structure of Çelikhan district of Adıyaman (Turkey) province and its close surroundings. Accordingly, 329 generaes and 867 taxa belonging to 79 families were identified in the relevant area. Two of the taxa belong to the Pteridophyta section and 864 taxa to the Spermatophyta section. Also, the number of endemic taxa was found to be as 139 (16%). Considering the distribution of taxa in phyto-geographical regions; Irano-Turanian element, Mediterranean element and Euro-Siberian element included 220 taxa (25,4%), 86 taxa (9,9%) and 31 taxa (3,6%), respectively. The first 10 families in terms of taxa number were Asteraceae (102), Fabaceae (85), Lamiaceae (62), Caryophyllaceae (57), Brassicaceae (54), Poaceae (47), Boraginaceae (40), Rosaceae (39), Rubiaceae (28) and Apiaceae (26), respectively. In terms of number of taxa, the first 11 genera were determined as *Astragalus* (28), *Silene/Allium* (16), *Veronica/Euphorbia/Galium* (13), *Minuartia* (11), *Alyssum/Onosma/Asperula/Trifolium* (10). Of those taxa identified; *Rheum telianum* ilçim at Ulubaba Mountain and *Allium donmezii* Mutlu & Karakuş at Akdağ have been registered as new taxa. Herewith the current study, the floristic list is given for the first time for the Çat Dam Lake Basin. In the field of research, 190 minimal areas were evaluated in vegetation studies conducted according to the Braun-Blanquet method and the existence of 19 new

KeywordsFlora; Vegetation;
Taxonomy;
Syntaxonomy;
Çelikhan; Adıyaman

assosiations was revealed. Of those assosiations, six of them belong to forest and bush, whilst 13 of them belong to steppe and alpine steppe vegetation types.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Bir bölgenin yer küre üzerindeki coğrafik konumu, sahip olduğu iklim özellikleri ve topoğrafik yapısı o bölgeyi diğer bölgelerden ayıran karakteristik özelliklerin başında gelir. Zira bu özellikler bitki örtüsünü şekillendiren başlıca etmenlerdir. Bu bağlamda her bölge eşsizdir. Bitkiler ile ortam arasındaki karşılıklı ilişkiler sonucu floristik yapı ve vejetasyon tipleri şekillenir. Çalışma alanının Jeolojik yapısı, topografyası, coğrafik durumu ve iklimi ülkemizdeki diğer bölgelerden çok farklıdır. Coğrafik bölge olarak Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin tam kesiştiği bölgede yer alması, iklim yönünden Akdeniz ve Karasal iklimlerinin birbirine karışması, topografya ve yükselti olarak Gaziantep ovasını birdenbire yüksek dağ ve tepelerle karşılaşması bu bölgeyi özel kılan özelliklerden en belirgin olanlarıdır. Akdeniz ve İran-Turan fitocoğrafik bölgelerinin kesiştiği yerde yer almasıyla da endemik bitkilerce nispeten zengin olmasına yol açmıştır (Zohary 1973). Çalışma alanı Davis'in Grid sistemine göre B7 ve C7 karelerinde yer almakta ve "az çalışılmış bölge" olarak nitelendirilmektedir (Davis 1965). Adıyaman ili Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer almasına rağmen çalışma alanlarımızdan Çat barajı havzası (Tak 2015) ve Ulubaba dağı (Şimşek 2015) ile sonuçlarından istifade ettiğimiz Akdağ (Çelikhan) Florası (Avcı 2019) alanları, Çelikhan ilçesi ile beraber Doğu Anadolu bölgesine en yakın bölgede yer almaktadır. Çalışma alanının İran-Turan ve Akdeniz fitocoğrafik bölgeleri arasındaki geçiş bölgesinde olması floristik yapının çeşitlenmesine katkıda bulunmuştur.

2000 yılından sonra ülkemizde yapılan flora çalışmalarından elde edilen verilerin de eklenmesiyle ülkemiz florası 167 familya ve 1320 cinse ait, 9996 tür, 1989 alttür, 867 varyete ve 263 melez tür olmak üzere 11707 takson içermektedir. 15 cins ile tür, alttür ve varyete düzeyinde 3649 (%31,82) takson ülkemize endemiktir (Güner vd., 2012, Ekim 2014).

Türkiye'deki vejetasyon çalışmaları incelendiğinde yapılan çalışmaların daha çok Türkiye'nin batı kesimlerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu nedenle bu kesimlerdeki vejetasyon birimleri önemli ölçüde ortaya konmuştur. Yurdumuzun doğu kesimlerinde ise çalışmaların son yıllarda hız kazandığı görülmektedir. Bu çalışmada sonuçları verilen Ulubaba Dağı Vejetasyonu ile Çat Baraj Havzası Vejetasyonu çalışmaları Adıyaman ilinde Nemrut Dağı Vejetasyonu'ndan sonra yapılan ikinci çalışmalardır. Ulubaba dağı ve Çat Baraj Havzası'nda yapılan vejetasyon çalışması sonucunda tespit edilen bitki birlikleri ve bunların bağlı olduğu üst birimler ilk kez bu çalışmada verilmiştir. Vejetasyon çalışması yapılan her iki alan Türkiye Vejetasyon Haritasının çıkarılmasında önemli katkı sağlayacaktır.

Çalışma alanlarından birisi olan Çat Baraj Gölü Havzası ülkemizin nadide habitatlarından olan "yüzen adaları" barındırmaktadır. Her geçen gün sayıları ve miktarları azalan yüzen adaların da içinde bulunduğu Çelikhan ilçesi ve çevresinin bir an önce floristik yapısının belirlenebilmesi ve araştırma sahasının yukarıda belirtilen bölgeye özgü özelliklerinden dolayı floristik kompozisyon ve vejetasyon yapısının araştırılması amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Araştırma materyalini 2011-2020 yılları arasında yapılan ve aynı zamanda her biri bir yüksek lisans tez çalışması olan üç araştırmadan elde edilen floristik ve fitososyolojik sonuçlar oluşturmaktadır. Birinci yazar danışmanlığında yapılan yüksek lisans çalışmalarından Ulubaba Dağı Vejetasyonu Şimşek (2015)'e ait ve Çat Baraj Gölü Havzasında Tak (2015)'e ait vejetasyon çalışmalarında elde edilen bulgu ve sonuçlara ilk defa bu çalışmada yer verilmiştir. Bu iki çalışmada elde edilen bitki birlikleri (assosiasyon) ve bunların bağlı bulunduğu sintaksonomik üst birimler liste halinde sunulmuştur. Ayrıca Çat Baraj Havzasının (Çelikhan) vejetasyon yapısını oluşturan bitki envanteri (flora)

ilk kez bu çalışmada verilmiştir. Akdağ Florası Avcı (2019)'ya ait bir başka yüksek lisans tez çalışması olup sonuçlarından istifade edilerek diğer iki yüksek lisans çalışması ile birleştirilmiş ve Çelikhan ve yakın çevresinin floristik kompozisyonu ile fitososyolojik yapısı ortaya konmuştur. Bu çalışmada listesi verilen Çat Baraj havzasından toplanan bitkiler vejetasyonun optimum gelişme gösterdiği mayıs-temmuz aylarında herbir örnekten popülasyonuna zarar verilmeden üçer tane toplanmış, tekniklerine uygun şekilde kurutulmuştur. Bilimsel isimleri belirlenen örnekler ADYUHER (Adıyaman Üniversitesi Herbariumu) demirbaşına kaydedilmiştir. Toplanan bitki örneklerinden biri *Rheum telianum* İlçim (Tel Işkını) ismi ile bilim dünyasına yeni tür olarak kazandırılmıştır (İlçim ve Karahan 2020). Malatya, Akçadağ, Başyurt platosu, Kartalkaya Tepesi, 2400 m rakımda tespit edilen *Allium dönmezii* Mutlu & Karakuş (Akçadağ körmeni) taksonunun bir popülasyonu Çelikhan Akdağ'ın 2494 m rakımda rastlanmıştır (Karakuş ve Mutlu 2019).

Her taksonun Türkçe adı bilimsel adından sonra tek tırnak içerisinde yazılmıştır (<https://bizimbitkiler.org.tr>) (Int. Kyn. 1). Taksonların habitatları, toplanma tarihleri, rakımları, fitocoğrafik bölgeleri kayıt altına alınmış, taksonların IUCN (tehlike kategorileri) ve endemizm durumları belirlenmiştir (Kullanılan IUCN kategorileri: CR (Critically Endangered): Kritik Tehlikede, EN (Endangered): Tehlikede, VU (Vulnerable): Duyarlı, Zarar görebilir, NT (Near Threatened): Tehdite yakın, LC (Least Concern): Düşük riskli, DD (Data Deficient): Yetersiz verili, NE (Not Evaluated): Değerlendirilmemiş). Tehlike kategorilerinin yazımında Tespit edilen bitkilerin tehdit kategorileri The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-3'e (Int. Kyn. 2) ve Ekim ve arkadaşları tarafından hazırlanan "*Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı (Eğrelti ve Tohumlu Bitkiler)*" kullanıldı (Ekim vd. 2000). Floristik listede yer alan endemik taksonların "IUCN Red List Categories and Criteria Version 3.1" (IUCN Red List, 2012) kullanılarak tehlike kategorileri yeniden değerlendirilmiştir. Güncel veriler <http://www.iucnredlist.org/> adresindeki bilgiler baz alınarak düzenlenmiştir (Int. Kyn. 3). Teşhis edilen bitkilerin güncel taksonomik durumları <http://www.theplantlist.org>, <https://www.ipni.org> gibi çeşitli veri tabanlarından

kontrol edilmiştir (Int. Kyn. 4, 5). Takson yazar isimlerinin yazılışı "*Authors of Plants Names*" (Brumitt and Powell 1992) ve IPNI (The International Plant Names Index) (<http://www.ipni.org/ipni.do>) kullanılarak düzeltilmiştir (Int. Kyn. 5).

Bitki toplama lokasyonları, istasyonlar numaralandırılarak köşeli parantez içinde gösterilmiştir. Davis'in kareleme sistemine göre bulunduğu kare numaraları en başta verilmiştir.

Takson isimleri verilirken geçerli isim ve otör adlarının yanında sinonim olan taksonların isimleri de yazılmıştır. Bitki teşhisinde kullanılan temel eser P. H. Davis'in 'Flora of Turkey and the East Aegean Island' adlı 10 ciltlik eserin yanında, supplement olan 11. Ciltten ve karakter belirlemede yardımcı kitap olan 'Bitkibilimi Terimleri Sözlüğü' isimli eserden ayrı ayrı istifade edilmiştir (Davis 1965-1985, Davis *et al.* 1988, Güner vd. 2000, Altınayar 1987). Floristik liste alfabetik sıraya göre verilmiş, taksonların sahip olduğu hayat formları (F: Fanerofit, K: Kamefit, H: Hemikriptofit, G: Geofit, T: Terofit, V.P.: Vasküler Parazit), fitocoğrafik bölgeleri, endemizm ve IUCN tehlike kategorileri liste içinde gösterilmiştir. İstasyonların iklim verileri DMİ (Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü) verileri esas alınarak yorumlanmıştır (DMİ 2012). İklimsel verilerin yorumu, kullanılan formüller, tespit edilen kurak devre ve yağış ve sıcaklık emsalleri Emberger (1954) ve Akman'a (1990) göre yapılmıştır. İstasyonların iklim diyagramları Gaussen (1955) metoduna göre çizilmiştir. Büyük toprak gurupları ile ilgili veriler Adıyaman İl Özel İdaresi'nden temin edilmiştir (Anonim 2015).

Çalışma sahasının jeolojisi ile ilgili bilgiler "Türkiye Jeoloji Haritası"ndan ve MTA kaynaklarından alınmıştır (MTA 2009, Gürbüz vd. 2007).

Bu makalede verilen floristik liste Çat Baraj Havzasından toplanılan bitkilere aittir. Bitki toplanan istasyonların lokaliteleri ve numaraları şu şekildedir:

[1] Adıyaman, Çelikhan, Çat barajı güney girişinden batıya doğru 500 metre ilerisi, 38° 02'57.12" K, 38° 13'40.11"D

[2] Adıyaman, Çelikhan, Çat barajı doğusu, dağlık bölge, 38° 03'11.86''K, 38 12'21.45'' D

[3] Adıyaman, Çelikhan, Çat barajı girişinin batısı, 38 04'57.27'' K, 38° 13'04.38'' D

[4] Adıyaman, Çelikhan Çat barajı doğusu, 38° 03'32.68''K, 38° 16'47.62''D

[5] Adıyaman, Çelikhan Çat barajı kuzeyi, 38° 04'09.16''K, 38° 14'18.76''D

[6] Adıyaman, Çelikhan Çat barajı doğusu, 38° 03'09.93''K, 38° 16'28.28''D

[7] Adıyaman, Çelikhan Çat barajı doğusu, 38° 03'01.36'' K, 38° 16'24.41'' D

Bu makalede verilen Çat barajı (Çelikhan) vejetasyonuna ait floristik listenin sonuna, eğer ilgili takson diğer iki çalışma olan Ulubaba Dağı (1) ve Akdağ Florası (2) ile ortak takson ise parantez içinde

(1) ve (2) şeklinde diğer 2 çalışmanın numarası verilmiştir. Çat barajı gölü havzası B7 karesinde iken Ulubaba Dağı tamamen, Akdağ (Çelikhan) ise kısmen C7 karesinde yer almaktadır. Bu nedenle Lokasyon belirtirken ilgili taksonların sonundaki (1) ve (2)'nin yanına [C7] şeklinde "kare adı" eklenmiştir. Tubives (Türkiye bitkileri veri servisi)'te yer alan taksonların başına (*) işareti konulmuştur (Int. Kyn. 7).

2.1. Araştırma Alanının Coğrafik Özellikleri

Çalışma alanı B7 ve C7 karesi içinde yer almaktadır. Kuzeyinde Yeşilyurt, batısında Doğanşehir, doğusunda Sincik ve güneyinde Adıyaman Merkez ilçeleri yer alır. Çelikhan ilçesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi siyasi sınırları içinde yer almasının yanında Doğu Anadolu bölgesi ile sınırı oluşturmaktadır (Şekil 2.1). Çelikhan Çat Baraj Gölü 1450 m rakımda olup, Akdağ 2551 m, Ulubaba Dağı ise 2533 m zirve yüksekliğine sahiptir.



Şekil 2.1 Araştırma alanının (Çelikhan ve yakın çevresinin) coğrafik haritası (Int. Kyn. 6.)

2.2. Araştırma Alanının Jeolojik Özellikleri

Çalışma Alanını da içine alan Güneydoğu Anadolu'nun tektonik yapısı güneydeki Arabistan levhasının kuzeye ilerlemesi ve Avrasya levhası ile çarpışma sonucu bugünkü konumunu almıştır. Bu etkili tektonizma sonucu olarak Doğu Anadolu Fayı, bindirmeler, normal faylar, eklemeler ve kıvrımlar bölgenin yapısını oluştururlar (Önal vd. 1986) Yapının Permo-Karbonifer mermerler ve Eosen yaşlı kalkerlerden oluşması nedeniyle karşılaşma da ovanın şekillenmesinde etkili olmuştur. Pliyosen başlangıcında ortaya çıkan Doğu Anadolu fay zonu karşılaşmayı ve akarsu aşındırmasını yönlendirmiştir. Çalışma alanında temeli oluşturan en yaşlı birim Paleozoik-Mezozoik yaşlı Pötürge ve Malatya metamorfiteğini gözlü gnays, kuvarsit, amfibolit şist, mikaşist ve klorit şistler oluşturmaktadır (Sunkar ve Özdemir 2002). Volkano-Sedimenter kayaların ardalanmasından oluşan Maden karmaşığı Çelikhan Çayı vadisinin her iki yamacında, Bozdağ üzerinde, Kurucaova ile Çelikhan ovası arasındaki eşik sahada ve Bulam Çayı vadisinde yüzeylenmektedir. Çamurtaşları, piroklastitlerle ardalanmalı lav akıntıları, aglomera lapilli ve tüfler, kil taşı, radyolarit, kireçtaşı, kuvarsitten oluşmaktadır.

Kuvaterner birimleri Çat baraj gölü güneyinde yamaç molozlarından oluşmaktadır. Birikinti yelpazelerini oluşturan alivyonların kalınlığı 120 m'ye kadar oluşmaktadır (Karaman vd. 1993).

2.3. Araştırma Alanının Toprak Özellikleri

Araştırma alanında Çat barajı havzasının kıyı bölgelerinde jeolojik materyalin çeşitliliği nedeniyle de değişik topraklar gelişim göstermektedir. Çat barajı'nı çevreleyen toprak profillerinin yıl boyu suyla doygunluğunun ve organik madde içeriklerinin yüksek olması toprakların verimlilik düzeylerinin yüksek olmasına yol açmaktadır (Anonim 2015).

2.4. Araştırma Alanının İklim Özellikleri

Adıyaman ili Çelikhan İlçesi rasat istasyonu 1346 m yüksekliktedir ve koordinatları 38° Kuzey enlem- 38° Doğu boylamları'dır. Çelikhan meteoroloji istasyonu 1993 yılında kapanmıştır. Alınan veriler 1984-2012 yılları arasında yapılan ölçümlere aittir (Çizelge 2.1). Adıyaman ve Malatya illerine ait veriler 1970-2012 yılları arasında yapılan ölçümlere aittir (DMİ 2012).

Çizelge 2.1 Araştırma bölgesindeki istasyonların rasat tipleri ve süreleri

İSTASYON	Enlem/Boylam	Yükseklik (m)	Rasat Yılları	Rasat Tipleri	İstasyon Tipi
Adıyaman	37N-38E	672	1970-2012	Yağış-Sıcaklık	Büyük Klima
Çelikhan	38N-38E	1346	1984-1993	Yağış-Sıcaklık	Küçük Klima
Malatya	38N-38E	948	1970-2012	Yağış-Sıcaklık	Büyük Klima

Yıllık yağış miktarı (P), en sıcak ayın maksimum sıcaklık ortalaması (M), en soğuk ayın minimum sıcaklık ortalaması (m), Q değerleri ve buna karşılık

gelen Akdeniz iklim katları Çizelge 2.2 de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Adıyaman, Çelikhan ve Malatya'nın Biyoiklim tipleri ve bununla ilgili veriler

İSTASYON	P(mm)	M(273° eklenecek)	m	Q	S(PE/M)	Yağış Rejimi	Biyoiklim Katı
Adıyaman	677	36,9	0,9	13,4	0,27	KİSY	Yarıkurak, serin akdeniz iklimi
Çelikhan	807,4	31,4	-4,9	17,43	0,24	KİSY	Az yağışlı, çok soğuk Akdeniz iklimi

Malatya	366,3	33,5	-3,9	7,4	0,68	İKSY	Kurak, çok soğuk Akdeniz iklimi
---------	-------	------	------	-----	------	------	---------------------------------

Araştırma alanının yakın çevresine ait aylık ve yıllık sıcaklık ortalamaları Çizelge 2.3'de gösterilmiştir.

Buna göre yıllık ortalama sıcaklık Adıyaman için 17 °C, Çelikhan için 11 °C ve Malatya için 13,5 °C'dir.

Çizelge 2.3 Araştırma alanının yakın çevresine ait aylık ve yıllık sıcaklık ortalamaları

İSTASYON	Rasat Süresi	AYLAR												1264 ort.
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Adıyaman	28	4,1	5,7	9,7	14,9	20,3	26,4	30,7	30,1	25,7	18,6	11,5	6,3	17
Çelikhan	9	-1,9	-1,3	3,2	10,4	14,8	19,6	24,5	24,1	20,1	12,9	5,5	0,2	11
Malatya	61	-0,9	1	6,4	13	18,2	23,1	27,2	27,1	22,4	15,3	7,9	1,8	13,5

Yapılan hesaplamalara göre Q değerinin Adıyaman için 13,4; Çelikhan için 17,43 ve Malatya için 7,4 olduğu görülmüştür. Bu değerlere göre Adıyaman yarıkurak serin, Çelikhan az yağışlı çok soğuk, Malatya kurak çok soğuk Akdeniz biyoiklim katında yer almaktadır (Çizelge 2.2). Araştırma alanı ve çevresine ait yağış – sıcaklık grafikleri Gaussen metodu ile (Gaussen, 1955) çizildiğinde hem kurak devre hem de kural devre süresi gayet açık bir şekilde görülebilmektedir (Şekil 2.2, Şekil 2.3., Şekil 2.4.).

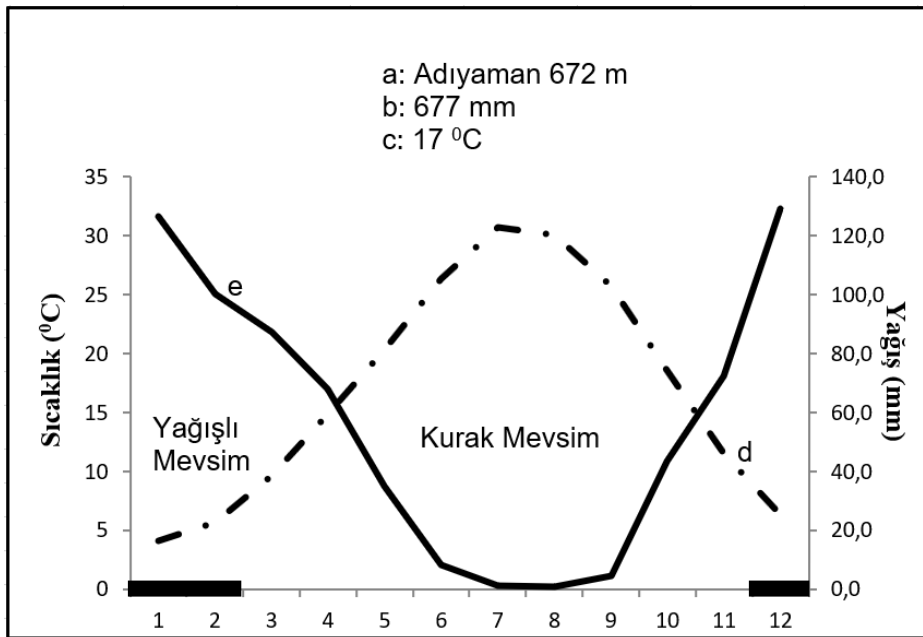
a: Meteoroloji istasyonunun yeri ve yüksekliği

b: Yıllık ortalama yağış (mm)

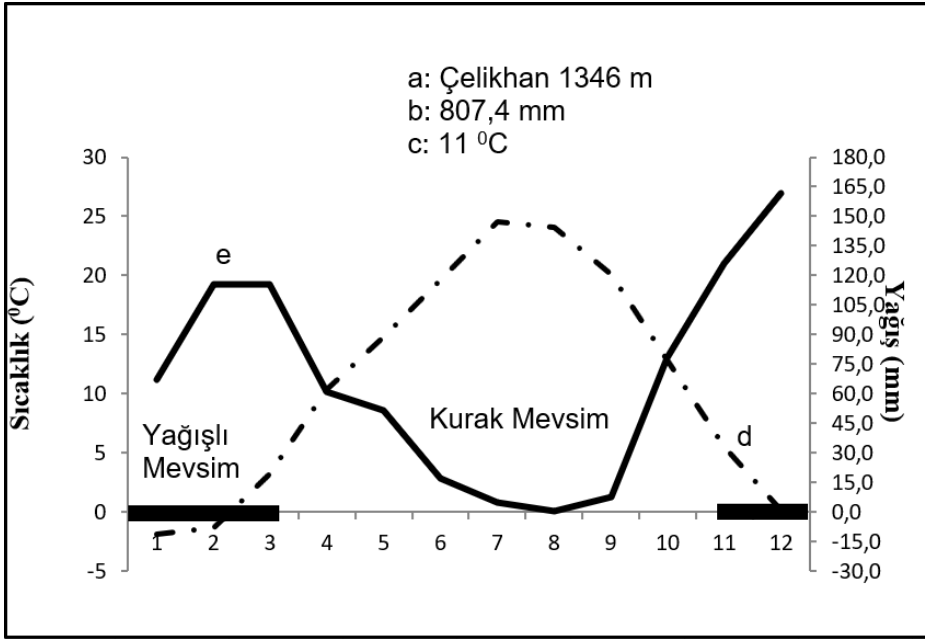
c: Yıllık ortalama sıcaklık (°C)

d: Sıcaklık eğrisi (Aylık ortalamalara göre)

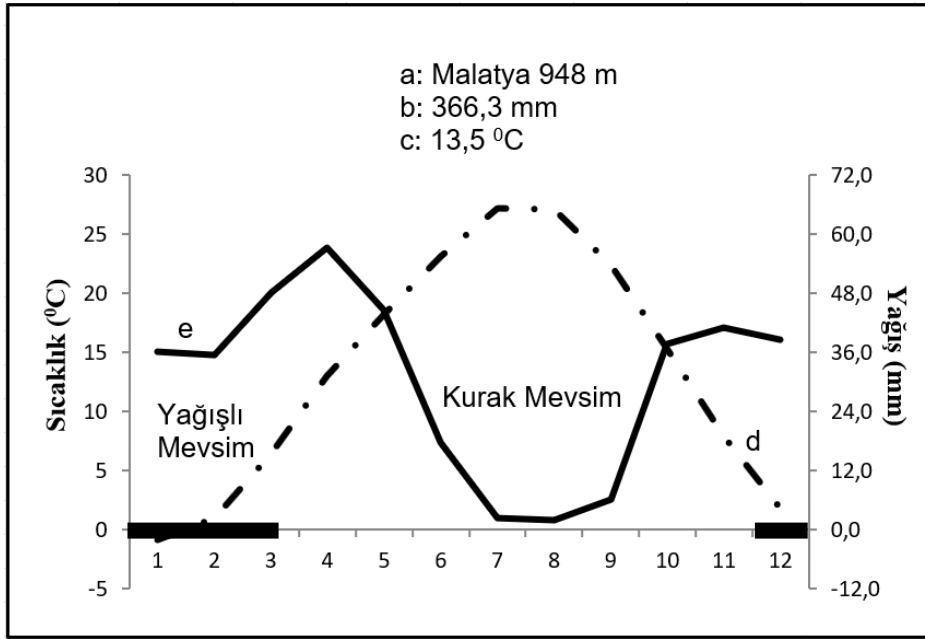
e: Yağış eğrisi (Aylık ortalamalara göre)



Şekil 2.2 Adıyaman ili omrotermik iklim diyagramı.



Şekil 2.3 Çelikhan ilçesi omrotermik iklim diyagramı.



Şekil 2.4 Malatya ili omrotermik iklim diyagramı.

Çelikhan ilçesi Meteoroloji İstasyonu 1993 yılında kapatıldığı için Çelikhan ile ilgili uzun süreli rasat sonucu elde edilen ve daha güncel iklim verilerine ulaşılamamıştır. Grafik 1984-1993 yılları arasındaki ölçümlerden yararlanılarak çizilmiştir.

Çalışma alanı çevresindeki düşen yağışın mevsimlere dağılımına göre yağış rejimi tipleri belirlenmiştir. Buna göre; Adıyaman ile Çelikhan yağış rejimi K.İ.Y.S şeklinde olup Doğu Akdeniz Yağış Rejimi 1. Tipi'ne, Malatya yağış rejimi ise İ.K.S.Y. şeklinde olup Doğu

Akdeniz Yağış Rejimi 2. Tipi'ne girmektedir. Çalışma alanı Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Adıyaman ve Çelikhan; az yağışlı Akdeniz, Malatya; Yarı kurak Alt Akdeniz Biyoiklim katına girmektedir. Çelikhan'da yıllık yağış ortalama yağış miktarı 809.4 mm olarak ölçülmüş olup ortalama yağışın yüksek olması yükseltiyle, cephelerle ve güneybatı yönünden gelen hava kütlelerine açık olması sebebiyle ilgilidir. Çelikhan'da yıllık ortalama yağışın %82,3'ü kış ve ilkbahar aylarında düşmektedir. Yıllık yağışın %43'ü kış aylarında %28'i ilkbahar aylarında, %3'ü yaz ve

%26'sı ise sonbahar aylarında düşmektedir. Çelikhan'da 5, Adıyaman'da 6, Malatya'da ise 9 ay don ve don ihtimali olan ay görülmektedir.

Yağış rejimi bakımından Çelikhan ve çevresi, mevsimlik yağış oranlarına göre Akdeniz, her ayın yağış rejimine ait özellikler göstermektedir. De Martonne aylık kuraklık indisine göre Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları kurak, diğer sekiz ay ise nemli aylardır. Thornthwaite yöntemine göre çizilen Çelikhan'ın su bilançosu diyagramına göre Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında su açığı bulunmaktadır (Özdemir ve Sunkar 2005).

3. Bulgular

Aşağıda verilen floristik envanterin tamamı Çelikhan ilçe sınırları içerisinde yer alan Çat Baraj Havzasına ait olup Akdağ ve Ulubaba Dağları ile ortak olan taksonlara da listede yer verilmiştir. Floristik liste verilirken "B7 Adıyaman/Çelikhan" şeklinde başlayan adres kısmı tüm takson adreslerinin başında yer aldığından tekrardan kaçınmak adına sadece ilk takson adresinde yazılmamıştır. C7 karesiyle ortak olan taksonlar adresin sonuna eklenmiştir.

3.1. Floristik Liste

PTERIDOPHYTA

Equisetaceae (1)

**Equisetum arvense* L 'Atkuyruğu'

B7 Adıyaman/Çelikhan, [2], orman, 1600-1780 m, 24/6/2011, H, Tel ve Tak. 2301.

SPERMATOPHYTA

GYMNOSPERMAE

Cupressaceae (1)

**Juniperus oxycedrus* L. subsp. *oxycedrus* 'Katrannardıcı'

[3], step, 1200-1250 m, 23/6/2011, VU, F, Tel ve Tak. 2302., (1), (2). [C7].

ANGIOSPERMAE

DICOTYLEDONAE

Acanthaceae (1)

**Acanthus dioscoridis* L. var. *dioscoridis* 'Iokmanayıpençesi'

[4], Step, 1280-1350 m, 24/06/2011, H, Tel ve Tak. 2204., (2) [C7].

Apiaceae (5)

**Bunium paucifolium* DC. var. *brevipes* 'koçkuzu'

[4],[6], Step, 1250-1500 m, 23/06/2011, İr.-Tur., End. [LC], H, Tel ve Tak. 2053., (1) [C7].

B. paucifolium DC. var. *paucifolium* 'Koçkuzu'

[4], Step, 1250-1350 m, 23/06/2011, T, Tel ve Tak. 2214., (1). [C7].

Bupleurum eginense (Wolff) Snogerup 'Eğışeytanayağı'

[3], Step, 1380-1400 m, 21/06/2011, End. [NT], T, Tel ve Tak. 2139.

B. gerardii All. 'Çalışeytanı'

[3], Step, 1200-1350 m, 21/06/2011, T, Tel ve Tak. 2113., (2). [C7].

Prangos pabularia Lindl. 'Beyik'

[6], Step, 1450-1500 m, 20/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2046., (1), (2). [C7].

Apocynaceae (1)

Vincetoxicum canescens (Willd.) Decne. subsp. *canescens* 'Zilazur'

[3],[4], Step, 1200-1400 m, 19/06/2011, H, Tel ve Tak. 2097., (2). [C7].

Aristolochiaceae (1)

Aristolochia maurorum L. 'Kargabardağı'

[4], Step, 1250-1350 m, 19/06/2011, G, Tel ve Tak. 2203., (2). [C7].

Asteraceae (25)

Achillea aleppica DC. subsp. *aleppica* 'Tatarciotu'

[6], Step, 1350-1400 m, 23/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2076., (1), (2). [C7].

A. arabica Kotschy 'hanzabel'

[4],[5],[7], Step, 1250-1600 m, 23/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2202., (1). [C7].

- Anthemis pauciloba* Boiss. var. *pauciloba* 'Bolpapatya'
[1], Orman, 1600-1780 m, 14/06/2011, H, Tel ve Tak. 2037.
[3], step, 1200-1400 m, 18/06/2011, T, Tel ve Tak. 2307., (1), (2). [C7].
- A. wiedemanniana* Fisch. et Mey. 'Bodurpabuçca'
[2], Orman, 1400-1450 m, 14/06/2011, End. [LC], H, Tel ve Tak. 2045.
Cyanus depressus (M.Bieb.) Soják 'Gökbaş' Sym. *C. depressa* M.Bieb.
[5], Step, 1400-1550 m, 14/06/2011, T, Tel ve Tak. 2180.,(1). [C7].
- Carduus nutans* L. subsp. *nutans* 'Eşekdikeni'
[5], Step, 1450-1500 m, 20/06/2011, K, Tel ve Tak. 2169., (2). [C7].
Filago eriocephala L. 'Delikeçeotu'
[1],[3],[5], orman, step, 1200-1780 m, 18/06/2011, D.Akd., T, Tel ve Tak. 2125.,(1). [C7].
- Centaurea urvillei* DC. subsp. *urvillei* 'Alakötürüm'
[1],[3], Orman, Step, 1700-1780 m, 14/06/2011, D.Akd., H, Tel ve Tak. 2149.
Gundelia teurnefortii L. var. *armata* Freyn&Sint 'Haskenger'
[1],[3],[4],[5],[6], orman, step, 1200-1780 m, 22/06/2011, İr.-Tur., End, H, Tel ve Tak. 2308., (1). [C7].
- Chardinia orientalis* (L.) O.Kuntze 'Çağlaotu'
[3],[5], Step, 1350-1550 m, 20/06/2011, İr.-Tur., T, Tel ve Tak. 2171., (2). [C7].
Helichrysum plicatum DC. subsp. *plicatum* 'Mantuvar'
[6], step, 1350-1550 m, 23/06/2011, K, Tel ve Tak. 2048., (1), (2). [C7].
- Cirsium congestum* Fisch. et Mey ex DC.
[6], Step, 1350-1550 m, 14/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2057.
Picnomon acarna (L.) Cass. 'Kılçık diken'
[4], step, 1300-1350 m, 21/06/2011, D.Akd., T, Tel ve Tak. 2309., (1). [C7].
- Cota tinctoria* L. var. *tinctoria* 'Boyacıpapatyası'
[4],[6],[7], Step, 1250-1600 m, 14/06/2011, H, Tel ve Tak. 2198., (1). [C7].
Senecio vernalis Waldst & Kit 'Kanaryaotu'
[1],[3],[5], orman, step, 1200-1750 m, 20/06/2011, T, Tel ve Tak. 2175., (1), (2). [C7].
- Cousinia foliosa* Boiss. & Balansa 'Gümüşkızan'
[4], Step, 1250-1350 m, 17/06/2011, İr.-Tur., End. [LC], H, Tel ve Tak. 2209., (1) [C7].
Tanacetum dencum (Labill.) Sch. subsp. *amani* Heywood 'Çarşakpireotu'
[6], step, 1350-1550 m, 20/06/2011, End. [LC], K, Tel ve Tak. 2050., (1), (2). [C7].
- Crepis sancta* (L.) Babcock 'Yabankıskısı'
[3],[6], Step, 1200-1550 m, 19/06/2011, T, Tel ve Tak. 2123.
Tripleurospermum sevanense (Manden.) Pobed. 'Hanımgödesi'
[4], step, 1250-1300 m, 18/06/2011, H, Tel ve Tak. 2111.
- C. foetida* L. subsp. *rhoeadifolia* (M Bieb.) Celak. 'Sakarkanak'
[5], Step, 1400-1450 m, 19/06/2011, T, Tel ve Tak. 2187.
Tragopogon longirostis Bisch. ex Schultz Bip. var. *longirostis*
[1], orman, 1700-1750 m, 15/06/2011, H, Tel ve Tak. 2033., (1). [C7].
- C. syriaca* (Bornm.) Babc & Navashin 'Çölkıskısı'
[1], orman, 1700-1750 m, 19/06/2011, T, Tel ve Tak. 2015.
T. pterocarpus 'bozyemlik'
- Crupina crupinastrum* (Moris) Vis. 'Gelindöndüren'

[3],[6],[7], step, 1300-1550 m, 15/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2137., (2). [C7].

Tussilago farfara L. 'Öksürükotu'

[2], orman, 1400-1650 m, 22/06/2011, H, Tel ve Tak. 2310., (2). [C7].

Brassicaceae (6)

Aethionema arabicum (L.) Andr. ex DC. 'Araptaşçantası'

[3], step, 1200-1400 m, 16/06/2011, K, Tel ve Tak. 2124., (2). [C7].

Alyssum szovitsianum Et Mey. 'Çarkuduzotu'

[4], step, 1300-1350 m, 16/06/2011, T, Tel ve Tak. 2218., (1). [C7].

A. murale Waldst. et Kit. var. *murale* 'Sekikuduzotu'
[6], step, 1400-1450 m, 18/06/2011, T, Tel ve Tak. 2063., (2). [C7].

Conringia perfoliata (C.A.Mey.) Busch 'Topuztelkari'
[3], step, 1250-1300 m, 19/06/2011, H, Tel ve Tak. 2138.

**Erysimum purpureum* Aucher 'Pembezarife'

[5], step, 1500 m, 18/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2183., (2). [C7].

Fibigia eriocarpa (DC.) Boiss.

[6],[7], step, 1400-1500 m, 22/06/2011, H, Tel ve Tak. 2311., (2). [C7].

Boraginaceae (10)

Alkanna megacarpa DC. 'Yamaçhavacıvası'

[3], step, 1200-350 m, 23/06/2011, İr.-Tur., End. [LC], H, Tel ve Tak. 2090., (2). [C7].

**Anchusa aucheri* DC. 'Karadindik'

[3],[4], step, 1200-1400 m, 23/06/2011, T, Tel ve Tak. 2127.

A. strigosa Labill. 'Gelezan'

[4], step, 1300-1350 m, 22/06/2011, H, Tel ve Tak. 2201., (1). [C7].

Asperugo procumbens L. 'Nevazilotu'

[1],[2],[7], orman, step, 1200-1750 m, 20/06/2011, Avr.-Sib., H, Tel ve Tak. 2312., (1), (2). [C7].

Heliotropium circinatum Griseb. 'Delibambulotu'

[4], step, 1250-1300 m, 19/06/2011, İr.-Tur., T, Tel ve Tak. 2207., (2). [C7].

**Nonea stenosolen* Boiss. et Balansa. 'Sormukotu'

[4], step, 1300-1350 m, 24/06/2011, İr.-Tur., End. [LC], H, Tel ve Tak. 2212., (2), [C7].

Onosma nemoricola Hausskn et. Bornm. ex Bornm. 'Koruşincarı'

[4],[7], step, 1250-1450 m, 21/06/2011, İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2077., (1), (2), [C7].

O. stenoloba Hausskn ex H.Riedl. 'Tosyaemçeği'

[3],[6],[7], step, 1200-1600 m, 21/06/2011, End. [LC], İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2082.

Paracaryum hirsutum (DC.) Boiss. 'Tüylüçarşakotu'

[2],[6], orman, step, 1250-1550 m, 19/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2049.

**Rochelia cardiosepala* Bunge 'Besnikuşırnağı'

[5], step, 1350-1450 m, 19/06/2011, İr.-Tur., T, Tel ve Tak. 2178.

Caryophyllaceae (7)

Eremogone acerosa (Boiss.) Ikonn. 'Sivrikumotu'
Sym. *Arenaria acerosa* Boiss.

[1],[6],[7], orman, step, 1350-1750 m, 18/06/2011, İr.-Tur., End. [LC], H, Tel ve Tak. 2034., (1). [C7].

Herniaria incana Lam. 'Kabayaran'

[4], step, 1300-1350 m, 17/06/2011, H, Tel ve Tak. 2217.

Holosteum umbellatum L. 'Şeytan küpesi'

[1], orman, 1700-1750 m, 17/06/2011, H, Tel ve Tak. 2313., (1). [C7].

Minuartia juniperina (L.) Marie et Petitm. 'Hanımşiltesi'

[3], step, 1200-1400 m, 20/06/2011, K, Tel ve Tak. 2100., (2). [C7].

Silene compacta Fisher 'Kanlıbasıraotu'
[2], orman, 1400-1650 m, 20/06/2011, H, Tel ve Tak. 2040., (2). [C7].

S. montbretiana Boiss. 'Faynakılı'
[6],[7], step, 1350-1600 m, 19/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2052., (1). [C7].

S. stenobotrys Boiss. Et Hausskn. 'Maraşnakılı'
[3], step, 1200-1400 m, 20/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2133., (2). [C7].

Dipsacaceae (1)

Scabiosa rotata M.Bieb. 'Topuyuzotu'
[1],[3],[4],[5], orman, step, 1200-1780 m, 18/06/2011, İr.-Tur., T, Tel ve Tak. 2095., (1), (2). [C7].

Euphorbiaceae (3)

Andrachne telephioides L. 'Duvarnohutu'
[3], step, 1200-1350 m, 22/06/2011, H, Tel ve Tak. 2118.

**Euphorbia gaillardotii* Boiss. et Balansa 'Kıraçsütleğeni'
[2],[3],[7], orman, step, 1200-1650 m, 22/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2043.

E. helioscopia L. 'Feribanotu'
[6], step, 1400-1500 m, 22/06/2011, H, Tel ve Tak. 2085.

Eleagnaceae (1)

Elaeagnus angustifolia L. 'İğde'
[2], orman, 1400-1650 m, 25/06/2011, F, Tel ve Tak. 2314., (1). [C7].

Fabaceae (19)

Astragalus altanii Hub.-Mor. 'Meşegeveni'
[6], step, 1350-1550, 25/06/2011, İr.-Tur., End. [CR], H, Tel ve Tak. 2315.

A. elongatus Wild. subsp. *elangotus* 'Yazıyoncas'
[1], orman, 1700-1750 m, 23/06/2011, K, Tel ve Tak. 2021.

A. gummifer Lab. 'Sakızlıgeven'
[1],[5], orman, step, 1350-1780 m, 24/06/2011, İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2026., (1). [C7].

**A. lamarckii* Boiss. 'Eğingeveni'
[3], step, 1200-1400 m, 22/06/2011, İr.-Tur., End. [LC], K, Tel ve Tak. 2091., (2). [C7].

A. lineatus Lam. var. *longidens* (Frey) Mathews
[3], step, 1300-1400 m, 21/06/2011, K, Tel ve Tak. 2092., (1), (2). [C7].

**A. pycnocephalus* Fischer var. *pynocephalus* 'Bozukgeven'
[6], step, 1350-1550 m, 20/06/2011, İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2150., (1). [C7].

A. cicer L. 'Nohutgeveni'
[4], step, 1300-1350 m, 19/06/2011, K, Tel ve Tak. 2316.

Cicer bijugum Rech. Fil. 'Pitraknohut'
[3], step, 1200-1400 m, 17/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2126.

Colutea cilicica Boiss. et Balansa 'Patlangaç'
[1],[2], orman, 1400-1750, 25/06/2011, F, Tel ve Tak. 2039., (2). [C7].

Coronilla orientalis Miller. subsp. *orientalis* var. *orientalis* (All.) Vitman 'Alakörigen'
[6],[7], step, 1350-1600 m, 18/06/2011, H, Tel ve Tak. 2062.

Hedysarum pogonocarpum Boiss. 'taşbatalağı'
[3], step, 1200-1400 m, 17/06/2011, End. [LC], H, Tel ve Tak. 2104., (1). [C7].

Lotus gebelia Vent. var. *hirsitissimus* (Ledeb.) Dinsm. 'gül gazalboynuzu'
[1],[3], orman, step, 1200-1700 m, 17/06/2011, H, Tel ve Tak. 2128.

Medicago radiata L. 'Hilalyonca'
[3],[4], step, 1200-1550 m, 18/06/2011, İr.-Tur., T, Tel ve Tak. 2107., (2). [C7].

Ononis pusilla L. 'Yaltakdikenî'

[3], step, 1200-1300 m, 18/06/2011, Akd., H, Tel ve Tak. 2093.

Securigera varia (L.) Lassen 'Körigen'

Sym: *C. varia* L. subsp. *varia*

[4], step, 1250-1350m, 18/06/2011, H, Tel ve Tak. 2197.

Trigonella coelesyriaca Boiss. 'Handekok'

[3], step, 1200-1400 m, 17/06/2011, İr.-Tur., T, Tel ve Tak. 2103.

Vicia cracca L. subsp. *stenophylla* Vel. 'Meşefiği'

[4], step, 1250-1350 m, 18/06/2011, H, Tel ve Tak. 2195.

V. sativa L. subsp. *sativa* 'Fiğ'

[1], orman, 1600-1650 m, 18/06/2011, T, Tel ve Tak. 2038., (2). [C7].

Trifolium pratense L. var. *pratense* Boiss. et Balansa 'Çayırgülü'

[2], orman, 1450-1600m, 17/06/2011, H, Tel ve Tak. 2014., (2). [C7].

Fagaceae (1)

Quercus cerris L. var. *cerris* 'Saçlımeşe'

[1], Orman, 1600-1780 m, 25/6/2011, Akd., F, Tel ve Tak. 2036., (1). [C7].

Gentianaceae (1)

Gentiana olivieri Griseb. 'Afad'

[5], step, 1350-1550 m, 22/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2185.

Geraniaceae (1)

Pelargonium endlicherianum Fenzl. 'Solucanotu'

[3], step, 1380-1400 m, 21/06/2011, T, Tel ve Tak. 2129.

Hypericaceae (2)

**Hypericum scabrum* L. 'Karahasançayı'

[2],[3],[4],[5],[6],[7], orman, step, 1200-1650 m, 20/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2190., (1), (2). [C7].

H. thymopsis Boiss. 'Darendekantaronu'

[1], orman, 1600-1780 m, 18/06/2011, İr.-Tur., End. [NT], H, Tel ve Tak. 2024.

Illecebraceae (1)

Paronychia argentea Lam. var. *argentea* 'Gümüsetyaran'

[7], step, 1400-1600 m, 19/06/2011, Akd., H, Tel ve Tak. 2078.

Lamiaceae (20)

**Cyclotrichium niveum* (Boiss.) Manden. etscheng. 'Külotu'

[6],[7], step, 1350-1600 m, 24/06/2011, İr.-Tur., End. [VU], H, Tel ve Tak. 2060., (1), (2). [C7].

Lallemantia iberica (M.Bieb.) Fisch. et Mey. 'Ajdarbaşı'

[3], step, 1200-1350 m, 22/06/2011, İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2101., (1), (2). [C7].

Lamium macrodon Boiss. et Huet 'Balbaşı'

[1], orman, 1600-1750 m, 22/06/2011, İr.-Tur., T, Tel ve Tak. 2013.

Marrubium cuneatum Russel 'Elkurtaran'

[3], step, 1200-1400 m, 21/06/2011, İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2117., (1). [C7].

M. parviflorum Fisch. et Mey. subsp. *parviflorum* 'Bozotu'

[5], step, 1350-1450 m, 21/06/2011, İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2186.

Mentha spicata L. 'Eşeknanesi'

[2], orman, 1400-1650 m, 21/06/2011, H, Tel ve Tak. 2041.

**Micromeria myrtifolia* Boiss. et Hohen. 'Boğumluçay'

[3], step, 1200-1400 m, 20/06/2011, K, Tel ve Tak. 2109.

Nepeta nuda L. subsp. *albiflora* (Boiss.) Gams 'Karaküncü'

[3], step, 1200-1400 m, 20/06/2011, K, Tel ve Tak. 2098., (1). [C7].

N. teucrifolia Willd. 'Eşekyarpuzu'

Sym: *Nepeta fissa* C.A.Meyer

[7], step, 1400-1450 m, 20/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2073.

Phlomis armeniaca Willd. 'Bozşavlak'

[7], step, 1550-1600 m, 23/06/2011, İr.-Tur., End. [LC], K, Tel ve Tak. 2317., (1), (2), [C7].

**P. kurdica* Rech. Fil. 'Gubel'

[4],[5], step, 1250-1500 m, 23/06/2011, İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2184., (1). [C7].

**Salvia ceratophylla* L. 'tarakşalba'

[3],[4], step, 1200-1400 m, 24/06/2011, K, Tel ve Tak. 2318.

S. multicaulis Vahl. 'Kürtreyhani'

[3],[5],[7], step, 1200-1600 m, 24/06/2011, İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2319., (1), (2). [C7].

Stachys annua (L.) subsp. *annua* var. *annua* 'Haciosmanotu'

[4],[5], step, 1250-1400 m, 21/06/2011, İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2176., (2). [C7].

**S. cretica* L. subsp. *grana* (Boiss) Rech. Fil. 'Kabaçay'

[5], step, 1350-1550 m, 21/06/2011, İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2163.

Scutellaria orientalis L. var. *orientalis* 'Sarıkaside'

[3],[5], step, 1200-1550 m, 19/06/2011, İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2116.

Teucrium polium L. 'Acıyavşan'

[3],[4],[5],[7], step, 1200-1600 m, 20/06/2011, K, Tel ve Tak. 2320., (1), (2). [C7].

**Thymus kotschyanus* Boiss. Et Hohen. var. *kotschyanus* 'Kekik'

[1],[6], orman, step, 1350-1550 m, 20/06/2011, İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2164., (1), (2). [C7].

T. migricus Klokov et Des.-Shost. 'Peynirkekiği'

[5], step, 1350-1400 m, 21/06/2011, İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2174., (1). [C7].

Ziziphora capitata L. 'Anuk'

[1],[3],[4],[5],[6], orman, step, 1200-1780 m, 22/06/2011, İr.-Tur., T, Tel ve Tak. 2105., (1), (2). [C7].

Morinaceae (1)

Morina persica L. 'Merdivençiçeği'

[3], step, 1200-1250 m, 20/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2321., (1), (2). [C7].

Orobanchaceae (2)

**Orobanche anatolica* Boiss. et Reuter 'Anacanavarotu'

[3], step, 1200-1400 m, 18/06/2011, V.P., Tel ve Tak. 2143., (1), (2). [C7].

O. kurdica Boiss. et Hausskn. 'Şarkbakkıranı'

[1], orman, 1700-1750 m, 19/06/2011, V.P., Tel ve Tak. 2019., (2). [C7].

Papaveraceae (2)

Fumaria asepala Boiss. 'Akşahtere'

[4], step, 1250-1350 m, 18/06/2011, T, Tel ve Tak. 2208., (2). [C7].

Papaver persicum Lindl. subsp. *fulvum* Kit Tan et Sorger 'Kaşıklık'

[6],[7], step, 1400-1550 m, 17/06/2011, T, Tel ve Tak. 2051., (1). [C7].

Plumbaginaceae (1)

**Acantholimon acerosum* (Wild.) Boiss. subsp. *acerosum* 'Pişikkeveni'

[6], step, 1400-1450 m, 24/06/2011, İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2072., (1), (2). [C7].

Polygonaceae (3)

**Atraphaxis billardieri* Jaub. et Spach var. *billardieri* 'Tekebuğdayı'

[6], step, 1500-1530 m, 21/06/2011, İr.-Tur., K, Tel ve Tak. 2055., (2). [C7].

Rumex acetosella L. 'Kuzukulağı'

[1], orman, 1600-1780 m, 19/06/2011, H, Tel ve Tak. 2029., (1), (2). [C7].

R. crispus L. 'Labada'

[2], orman, 1400-1650 m, 18/06/2011, H, Tel ve Tak. 2003., (1), (2). [C7].

Primulaceae (1)

Androsace maxima L. 'Tavukkursağı'

[4], step, 1250-1350 m, 17/06/2011, T, Tel ve Tak. 2322.

Ranunculaceae (2)

Nigella orientalis L. 'Şarkçörekotu'

[3], step, 1380-1400 m, 17/06/2011, Öksin, T, Tel ve Tak. 2135.

Ranunculus arvensis L. 'Mustafaçiçeği'

[4], step, 1330-1350 m, 17/06/2011, H, Tel ve Tak. 2189., (2). [C7].

Rosaceae (6)

Cerasus mahaleb (L.) Miller. subsp. *mahaleb* 'Mahlep'

[2], orman, 1400-1650 m, 25/06/2011, F, Tel ve Tak. 2323., (2). [C7].

C. microcarpa (C.A.Meyer) Boiss. subsp. *tortuosa* (Boiss. et Hausskn.) Browicz 'Sarıdağkirazı'

[2],[3], step, 1200-1500 m, 24/06/2011, İr.-Tur., F, Tel ve Tak. 2099.

**Cotoneaster nummularia* Fisch. et Mey. 'Dağmuşmulası'

[6], step, 1500-1550 m, 24/06/2011, F, Tel ve Tak. 2088., (1). [C7].

Pyrus syriaca Boiss. var. *microphylla*

[1],[4], orman, step, 1350-1750 m, 25/06/2011, End., [VU], F, Tel ve Tak. 2025.

Rosa foetida J.Herrm. 'Acemsarısı'

[3],[4],[6],[7], step, 1250-1600 m, 25/06/2011, F, Tel ve Tak. 2102., (1). [C7].

Sanguisorba minor Scop. subsp. *minor* 'Çayırdüğmesi'

[2],[3],[4],[5],[6], orman, step, 1200-1650 m, 20/06/2011, H, Tel ve Tak. 2324., (1). [C7].

Rubiaceae (6)

Asperula xylorrhiza Nab. 'Siirtbelumotu'

[4], step, 1300-1350 m, 19/06/2011, H, Tel ve Tak. 2164.

Callipeltis cucullaria (L.) Steven 'Nermik'

[3],[4],[5], step, 1300-1550 m, 18/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2119., (2). [C7].

**Crucianella macrostachya* Boiss. 'Kocahaçotu'

[1], orman, 1600-1750 m, 17/06/2011, D.Akd., T, Tel ve Tak. 2012.

**Galium incanum* SM. subsp. *elatius* (Boiss.) Ehrend. 'Güriplikçik'

[6], step, 1350-1450 m, 19/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2070.

G. mite Boiss. et Hohen. 'Süpürgeiplikçiği'

[7], step, 1400-1600 m, 18/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2079.

G. spurium L. subsp. *spurium* 'Arsızıplikçik'

[5], step, 1350-1500 m, 17/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2179., (2). [C7].

Rutaceae (1)

Haplophyllum cappadocicum Spach 'Perisedosu'

[3],[5], step, 1200-1550 m, 20/06/2011, İr.-Tur., End. [NT], H, Tel ve Tak. 2120., (2). [C7].

Salicaceae (3)

Salix babylonica L. 'Salkımsöğüt'

[2], orman, 1400-1650 m, 24/06/2011, F, Tel ve Tak. 2042., (2). [C7].

**S. triandra* L. subsp. *bornmuelleri* (Hausskn.) A.K.Skvortsov 'Bağsöğüdü'

[2], orman, 1400-1650 m, 24/06/2011, İr.-Tur., F, Tel ve Tak. 2325.

Populus tremula L. 'Titrekkavak'

[2], orman, 1400-1650 m, 24/06/2011, Avr.-Sib., F, Tel ve Tak. 2007.

Scrophulariaceae (7)

Anarrhinum orientale Bentham 'Süpürgeotu'
[2],[3],[7], orman, step, 1400-1650 m, 23/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2108., (1), (2). [C7].

**Linaria chalepensis* (L.) Miller var. *chalepensis*
'Halepnevruzotu'
[1],[7], orman, step, 1400-1600 m, 23/06/2011, D.Akd., H, Tel ve Tak. 2326., (2). [C7].

L. genistifolia (L.) Miller subsp. *confertiflora* (Boiss.)
Davis 'Çoknevruzotu'
[6], step, 1500-1650 m, 23/06/2011, İr.-Tur., End. [LC], H, Tel ve Tak. 2069.

Scrophularia xanthoglossa Boiss. var. *dicipiens*
(Boiss et Kotschy) Boiss. 'serkele'
[2], orman, 1400 m, 22/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2004.

Veronica macrostachya Vahl subsp. *macrostachya*
'Kocamaviş'
[6], step, 1350-1450 m, 17/06/2011, D.Akd., K, Tel ve Tak. 2074., (1). [C7].

V. orientalis Mill. subsp. *orientalis* 'Gözmumcuğu'
[5],[6], step, 1400-1500 m, 17/06/2011, K, Tel ve Tak. 2108.

V. orientalis Mill. subsp. *nimrodi* (Richt. ex Stapf)
M.A.Fischer 'Nemrutmavişi'
[4], step, 1300-1350 m, 17/06/2011, İr.-Tur., End. [LC], K, Tel ve Tak. 2215., (1), (2). [C7].

Urticaceae (1)

Urtica dioica L. 'Isırgan'
[2], orman, 1500-1600 m, 20/06/2011, Avr.-Sib., H, Tel ve Tak. 2010., (2). [C7].

Valerianaceae (2)

Valerianella vesicaria (L.) Moench 'Kuzugevreği'
[3], step, 1200-1400 m, 20/06/2011, T, Tel ve Tak. 2121.

Centranthus longiflorus Stev. 'Mahmuzçiçeği'
[7], step, 1400-1600 m, 23/06/2011, İr.-Tur., H, Tel ve Tak. 2086., (1), (2). [C7].

MONOCOTYLEDONAE

Amaryllidaceae (5)

Allium scabriflorum Boiss. 'Tuzkörmeni'
[3], [6], Orman ve Step, 1200-1550 m, 20/06/2011, End. [LC], İr.-Tur., G, Tel ve Tak. 2142.

A. chrysantherum Boiss. et Reuter 'Sarıkafa'
[6], Step, 1350-1550 m, 21/06/2011, İr.-Tur., G, Tel ve Tak. 2059.

**A. flavum* L. subsp. *tauricum* (Besser ex Reichb.)
Stearn 'Torossarı'
[1], Orman, 1600-1780 m, 20/06/2011, Akd., G, Tel ve Tak. 2023., (1). [C7].

A. orientale Boiss. 'Doğusoğanı'
[7], Step, 1400-1450 m, 19/06/2011, D.akd., G, Tel ve Tak. 2303., (1). [C7].

**A. trachycoleum* Wendelbo 'Bozsarmısak'
B7Adıyaman/Çelikhhan, [6], Step, 1350-1450 m, 20/06/2011, İr-tur., G, Tel ve Tak. 2081., (1), (2). [C7].

Asparagaceae (1)

Bellevia macrobotrys Boiss. 'Kocasümbül'
[1], [3], Orman ve Step, 1200-1780 m, 19/06/2011, İr.-Tur., G, Tel ve Tak. 2028.

Poaceae (14)

Aegilops cylindrica Host 'Kırpikliot'
[3],[4], Step, 1200-1350 m, 18/6/2011, İr.Tur., H, Tel ve Tak. 2304., (1). [C7].

Avena eriantha Durieu 'Koruyulafı'
[3],[6], 1350-1550 m, 18/6/2011, T, Tel ve Tak. 2061.

Bromus japonicus Thunb. subsp. *japonicus* 'İyeotu'
[1],[4],[6],[7], Orman ve Step, 1400-1780 m, 18/6/2011,, T, Tel ve Tak. 2305., (1). [C7].

- B. sterilis* L. 'Sağırılcan' [3],[4],[5], Step, 1200-1550 m, 18/6/2011, H, Tel ve Tak. 2199., (1), (2). [C7].
[1], Orman, 1700-1750 m, 18/6/2011, T, Tel ve Tak. 2032.
- B. tectorum* L. 'Kırbromu' [3],[6], Step, 1200-1550 m, 18/6/2011, H, Tel ve Tak. 2306., (1). [C7].
[5], step, 1350 -1550 m, 18/6/2011, T, Tel ve Tak. 2172., (1), (2). [C7].
- Dactylis glomerata* L. subsp. *hispanica* (Roth) Nyman 'Kılıdomuzayrığı' [3],[7], Step, 1200-1700 m, 18/6/2011, H, Tel ve Tak. 2075., (2). [C7].
[1],[4],[6], Orman ve Step, 1250-1750 m, 18/6/2011, H, Tel ve Tak. 2017.,(1), (2). [C7].
- Elymus lazicus* (Boiss.) Melderis subsp. *divaricatus* (Boiss. et Balansa) Melderis 'Yaylabuğdayı' [3],[6], Step, 1200-1550 m, 18/6/2011, İr-Tur., End.[LC], H, Tel ve Tak. 2068.
- Heterantherium piliferum* (Sol.) Hochst. 'Çorakarpası' [4], Step, 1250-1350 m, 18/6/2011, İr.-Tur., Tel ve Tak. 2200.
- Hordeum bulbosum* L. 'Boncukarpa'
- Koeleria cristata* (L.) Pers. 'Gagaotu' [3],[6], Step, 1200-1550 m, 18/6/2011, H, Tel ve Tak. 2306., (1). [C7].
- Melica persica* Kunth subsp. *persica* 'Kireçinciotu' [3],[7], Step, 1200-1700 m, 18/6/2011, H, Tel ve Tak. 2075., (2). [C7].
- Phleum exaratum* Hochst. ex Griseb. subsp. *exaratum* 'Yaylaitkuyruğu' [1], Orman, 1700-1780 m, 18/6/2011, T, Tel ve Tak. 2031.
- Poa angustifolia* L. 'Kabasalkımotu' [2], Orman, 1600-1650 m, 18/6/2011, Avr.-Sib., H, Tel ve Tak. 2008.
- **P. bulbosa* L. [6], Step, 1350-1550 m, 18/6/2011, H, Tel ve Tak. 2065., (1), (2). [C7].

3.2 Çalışma Alanınının Vejetasyon Yapısı

Araştırma alanında çalışma sahasını temsil eden iki bölgenin vejetasyon yapısı incelenmiştir. Birinci araştırma "Çelikhhan Çat Barajı (Adıyaman) Havzası'nın Fitososyolojik ve Fitoekolojik Özellikleri" olup, ikincisi "Ulubaba Dağı (Adıyaman) Vejetasyonu Üzerine Fitososyolojik ve Fitoekolojik Çalışmalar" dır.

Çelikhhan Çat Barajı (Adıyaman) Havzası'nın Vejetasyonunu konu alan çalışmada 70 örneklik alan değerlendirildi, 7 assosiyasyon tespit edildi. Bunlardan 2 bitki birliği Orman ve Çalı vejetasyon tipine, 5 bitki birliği ise Step ve Alpin Step vejetasyon tipine aittir. Hepsi bilim dünyası için yeni kayıt olan assosiyasyonlar ve bağlı bulunduğu üst sintaksonomik birimler aşağıdaki gibidir:

Orman ve çalı vejetasyonu:

Class. *Quercetea pubescentis* (Oberd, 1948) Doing Kraft, 1955

Ordo: *Quercu-Carpinetalia orientalis* Quezel, Barbero, Akman 1980

Alyans. *Quercion anatoliche* Akman, Barbero et Quezel 1979

Assosiyasyon 1. *Astragalo gummiferi-Quercetum cerridis* ass. nova

Assosiyasyon 2. *Eleagno angustifoliae-Salixetum bornmuelleri* ass. nova

Step ve Alpin Step vejetasyonu:

Class. *Astragalo-Brometea* Quezel 1973

Assosiyasyon 3. *Bunio brevipii-Tanacetetum amanii* ass. nova

Ordo: *Onobrychido armenae-Thymetalia leucostomi* Akman, Ketenoğlu, Quezel 1984

Alyans: Astragalo karamasici – Gysophilion ericalycis Ketenoglu, Quezel, Akman, Aydoğdu
1983

Assosiasyon 4. *Elymo divaricatae*– *Astragaletum lamarckii* ass. nova

Assosiasyon 5. *Aristolochio maurarii*–*Onosmetum nemoricolii* ass. nova

Assosiasyon 6. *Gentiano olivieri*– *Phlometum kurdicae* ass. nova

Alyans: Phlomido armeniaceae – Astragalion microcephali Akman, Ketenoglu, Quezel,
Demirörs 1983

Assosiasyon 7. *Allio orientalis* – *Centranthetum longiflorii* ass. nova

Ulubaba Dağı (Adıyaman) Vejetasyonunu konu alan araştırma sonucuna göre 120 örnek parsel değerlendirilmiştir. Hepsi bilim dünyası için yeni 12 bitki birliği tespit edilmiştir. Birliklerden 4 tanesi

orman ve çalı, 8 tanesi step ve alpin step vejetasyonuna aittir. Tespit edilen birlikler ve bunların bağlı oldukları üst kategoriler aşağıdaki gibidir:

Orman ve çalı vejetasyonu:

Sınıf: Quercetea ilicis Br. - Bl. 1947

Ordo: Quercetalia ilicis Br. - Bl. 1931 em. Rivaz -Martinez 1975

Alyans: Quercion ilicis Br. - Bl. (1931) 1936

1. Birlik: *Allio stamineae-Platanetum orientalis* ass. nova

Alyans: Quercion calliprini Zohary 1962

2. Birlik: *Quercu brantii-Pinetum brutiae* ass. nova

3. Birlik: *Hedysaro pogonocarpii-Amygdaletum arabicae* ass. nova

Sınıf: Quercetea pubescentis Doingt Kraft 1955

Alyans: Abieto –Cedron Quèzel, Barbero et Akman 1978

4. Birlik: *Aethionemo lepidioidis-Quercetum cerridis* ass. nova

Step ve Alpin Step vejetasyonu:

Sınıf: Astragalo –Brometea Quèzel 1973

5. Birlik: *Poo pseudobulbosae-Astragaletum muschianii* ass. nova

Ordo: Onobrychido armanae –Thymetalia leucostomi Akman, Ketenoglu ve Quèzel 1984

6. Birlik: *Asperulo serotinae-Centranthietum longiflorii* ass. nova

7. Birlik: *Cousinio foliosae-Astragaletum gummiferi* ass. nova

8. Birlik: *Marrubio globosii-Tanacetetum amanii* ass. nova

Alyans: Phlomido armeniaceae –Astragalion microcephali Akman, Ketenoglu, Quèzel &
Demirörs 1986

9. Birlik: *Thymo migricii-Hypericetum scabrii* ass. nova

10. Birlik: *Helichryso aucherii-Acantholimetum multiflorii* ass. nova

11. Birlik: *Thymo kotschyani-Rheetum telianii* ass. nova

12. Birlik: *Cyclotrichido niveae-Pennisetetum orientalis* ass. nova

4. Tartışma ve Sonuç

Çelikhhan ilçesi ve yakın çevresinin florasını ortaya koyan üç araştırma sahası vardır. Çat Baraj Havzasına ait sosyolojik birimler ile floristik listesinin tamamı ilk defa bu makalede yer almıştır. Yine

Ulubaba Dağının sosyolojik birimleri ve floristik özelliklerinin sonuçlarına ilk defa bu çalışmada yer verilmiştir. Akdağ Florasının verileri ise bu iki çalışma sonuçlarıyla birleştirilmiş, Çelikhhan ilçesi (Adıyaman) ile ve yakın çevresinin flora ve vejetasyon yapısı ortaya konmuştur.

Bu makalede yer verilen araştırmalardan; "Çelikhan Çat Barajı (Adıyaman) Havzası'nın Fitososyolojik ve Fitoekolojik Özellikleri" başlıklı çalışmada floristik yapıyı oluşturan taksonlar; 37 familyaya ait 118 cins ve 166 tür ve tür altı taksondan ibarettir. Tespit edilen taksonlardan 1 familyaya ait 1 cins ve bu cinse ait 1 takson Equisetophyta bölümüne aittir. Geriye kalan 36 familya 117 cins ve 165 takson Spermatophyta bölümüne aittir. Spermatophyta taksonlarının 163'ü Angiospermae, 2 takson da Gymnospermae içinde yer almaktadır. Endemik takson sayısı 21 endemizm oranı %12,65'dir. IUCN tehlike kategorilerinden 1 takson CR, 3 takson (1'i nadir) VU, 3 takson NT ve 15 takson LC kategorisine girmektedir. Araştırma alanında İran-Turan floristik bölge elementi olarak 77 takson (%46), Akdeniz elementi olarak 12 takson (%7) bulunmakla birlikte bunlardan 8 tanesi Doğu Akdeniz elementidir. Avrupa-Sibirya elementine ait 6 takson (%4), geniş yayılışlı 37 takson (%22) ve fitocoğrafik bölge elementi belli olmayan 36 takson (%21) yer almaktadır. Hayat formlarından 12 takson Fanerofit, 33 takson Kamefit, 78 takson Hemikriptofit, 7 takson Geofit, 34 takson Terofit, 2 takson Vasküler Parazit'tir.

İkinci araştırma olan "Ulubaba Dağı (Adıyaman) Vegetasyonu Üzerine Fitososyolojik ve Fitoekolojik Çalışmalar" başlıklı çalışmada 46 Familyaya ait 141 cins ve 228 takson tespit edilmiştir. Araştırma alanında 47 takson endemik olup endemizm oranı%20,61'dir. IUCN tehlike kategorisinde endemik ve nadir olmak üzere toplam 50 takson (%21,93) bulunmaktadır. Bunlardan 4 takson CR, 7 takson EN, 4 takson VU, 6 takson NT, 27 takson LC ve 2 takson DD kategorisinde yer almakatadır (Tel ve Şimşek 2017). Fitocoğrafik bölgesi bilinen bitkilerin 103 taksonu (%45,18) İran – Turan fitocoğrafik bölgesine aittir. Doğu Akdeniz ve Akdeniz fitocoğrafik bölgesi toplam 21 takson ile (%9,21) temsil edilmekteyken Avrupa – Sibirya fitocoğrafik bölgesi 3 takson ile (%1,32) oranında temsil edilmektedir.

Üçüncü araştırma olan "Akdağ (Çelikhan) Florası" başlıklı çalışmada 73 familya, 297 cins ve 677 takson (655 tür) tespit etmiştir. Toplam taksonlardan 2

tanesi Pteridophyta bölümüne aitken, geriye kalan 675 takson ise Spermatophyta bölümüne aittir. Gymnospermae alt bölümü 12, Angiospermae alt bölümü ise 663 taksona sahiptir. Sırasıyla Angiospermae alt bölümüne ait olan taksonların 589'si Dicotyledonea, 74'i Monocotyledonea sınıfında yer almaktadır. Endemik takson sayısı ise 98 (%14,32)' dir. IUCN tehlike kategorilerinden 2 takson CR, 4 takson EN, 8 takson (1'i nadir) VU, 12 takson NT, 68 takson (1'i nadir) LC, 3 takson (1'i nadir) DD ve 4 takson NE kategorisinde yer almaktadır. Fitocoğrafik bölgeler içindeki taksonların dağılımı şu şekildedir: İran–Turan elementi 220 takson (%33,58), Avrupa-Sibirya elementi 29 takson (%4,42) ve Akdeniz elementi 64 takson (%9,76)'dır (Avcı 2019).

Çat Baraj Gölü Havzası, Ulubaba Dağı ve Akdağ'dan müteşekkil Çelikhan ilçe florasını temsil eden araştırma alanları, Akdeniz ve İran–Turan fitocoğrafik bölgelerinin geçiş bölgesinde yer alıp Davis'in kareleme sistemine göre B7-C7 karelerindedeyer alırlar. Çelikhan ve çevresinin florasını konu alan her üç araştırmanın sonuçları birleştirildiğinde; 79 familyaya ait 329 cins ve bu cinslere ait 866 tür ve türaltı takson bulunmaktadır. Bu makalede floristik listesi verilen Çat Baraj Gölü Havzasına ait 166 taksondan 63 takson Ulubaba Dağı Vegetasyon Florası ile, 69 takson Akdağ (Çelikhan) Florası ile, 102 takson ise her ikisiyle birlikte ortaktır. Yine alanda 31 taksonu ortak olan toplam 138 (%15,89) endemik takson yer almaktadır.

Bu çalışmalar dışında birisi Ulubaba dağında (*Rheum telianum*) diğeri Çelikhan Akdağ'da (*Allium dönmezii*) yakın zamanda tespit edilen 2 takson da bu çalışmaya ilave edilmiştir.

Tübives (Türkiye Bitkileri Veri Servisi) verilerine göre Adıyaman ilinde toplam 286 takson kayıtlıdır (Tübives, 2021). Araştırma sahasını oluşturan her üç bölgeden Tübives kayıtlarında yer almayan; Akdağ Florasında 520, Çat Baraj Havzası Florasında 137 (29 taksonu sadece Çat Baraj Havzasında), Ulubaba Dağı Florasında ise 200 (100 taksonu sadece Ulubaba dağında) takson belirlenmiştir. Her üç çalışma sahasının envanteri birleşince Tübives kayıtlarında

yer almayan toplam takson sayısının 649 olduğu (520+29+100) tespit edilmiştir.

Araştırma alanında İran-Turan 261, Akdeniz 86, Avrupa-Sibirya 31 takson olmak üzere fitocoğrafik elementi belli olan takson bulunmaktadır. Geniş yayılışlı takson sayısı ise 37'dir. Özellikle İran-Turan ve Akdeniz floristik elementlerinin fazla olması araştırma alanının İran-Turan ve Akdeniz fitocoğrafik bölgelerinin kesiştiği alana çok yakın olmasıyla açıklanabilir.

Araştırma alanında en fazla takson içeren ilk 5 familyaların genel flora içerisindeki yüzdeleri

değerleri sırası ile Asteraceae 102 (%11,7), Fabaceae 85 (%9,8), Lamiaceae 62 (%7,1), Caryophyllaceae 57 (%6,5), Brassicaceae 54 (%6,2) şeklindedir.

28 takson içeren *Astragalus* (%3,2) en fazla takson içeren cinstir. *Silene* ve *Allium* 16 (%1,8) taksonla ikinci, 13 (%1,5)'er taksonla *Veronica*, *Euphorbia*, *Galium* üçüncü, 11 (%1,2) taksonla *Minuartia* cinsi dördüncü, beşinci sırada yer alır.

Çizelge 4.1 Araştırma ile yakın bölgelerdeki çalışmaların endemizm oranları

NO	Çalışmanın Adı (Yazar yıl)	Endemizm oranı (%)
1	Araştırma alanı	16
2	Nemrut Dağı florasına katkılar (Tel 2009)	17.6
3	Şekeroba Çevresinin (K. Maraş) Floristik Yönden incelenmesi (İlçim vd. 2008)	9.51
4	The Flora of Kuyulu Eorision District (Adıyaman/Turkey) (Ekim vd. 2005)	5.9
5	Malatya İli Florası (Karakuş 2016)	21.1
6	Gazihan dede Mesire Alanının (Adıyaman) flora ve vejetasyonu (Ortaç 2019)	4.38
7	The flora of Kalecik Mountain (Şanlıurfa, Turkey) (Aydoğdu 2005)	5.46
8	Tek tek Dağları (Şanlıurfa) Florası (Kaya 2002)	1.9
9	Berit Dağı'nın (Kahramanmaraş) Floristik özellikleri (Yıldız 2001)	17.6
10	Türkiye florası üzerine (Erik ve Tarıkahya 2004)	31.47

Çalışma alanı ile yakın bölgelerin endemizm oranları karşılaştırıldığında en fazla endemizm oranına Malatya İli Florası [5], 2. sırada aynı orana sahip Berit Dağı [9] ve Nemrut Dağı Florasına Katkılar [2] adlı çalışmaların sahip olduğu görülmektedir. 3. sırada ise araştırma alanımız [1] (Çelikhan) gelmektedir (Çizelge 4.1). İlk üç sırada yer alan alanların güneydoğu Toros silsilesi üzerinde olmaları, yükseklik farklarının fazla olması, Doğu ve güneydoğu bölgeleri arasında geçiş kuşağında yer alması endemizm oranlarını diğer alanlara göre

yüksek tutan etmenler olarak düşünülebilir. Her üç alanın iklim ve yüzey şekilleri de benzerlik arz etmektedir. Daha düşük endemizm oranına sahip alanlarda ise yükselti ve habitat çeşitliliğinin daha az olduğu göze çarpmaktadır.

Araştırma alanı ile diğer bölgelerde yapılan bazı floristik çalışmaların fitocoğrafik bölgelere göre dağılım oranları karşılaştırıldığında: Şekeroba Çevresinin Floristik yönden incelenmesinde [3] elde edilen sonuçların diğer çalışmaların tersine olarak

en fazla Akdeniz fitocoğrafik bölge elementi barındırdığı görülmektedir. Kahramanmaraş ilinin Akdeniz bölgesinde yer alması bu sonucu doğuran etmen olarak düşünülebilir. Diğer çalışma alanları ile Türkiye florasındaki fitocoğrafik bölge elementleri

birbirine uyum sağlamaktadır. Birbirine yakın olan Nemrut Dağı, Malatya İli ve Çelikhan'da yapılan araştırma sonuçları birbirine yakın değerler göstermektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Araştırma alanına yakın bölgelerde yapılan floristik araştırmalardaki taksonların fitocoğrafik bölgelere dağılımları

NO	Çalışmanın Adı	Ir.- Tur. (%)	Akdeniz (%)	Avrupa-Sibirya (%)
1	Araştırma alanı	261 (30)	86 (9.9)	31 (3.5)
2	Nemrut Dağı florasına katkılar (Tel 2009)	101 (40.7)	26 (10.5)	2 (0.4)
3	Şekeroba Çevresinin (K. Maraş) Floristik Yönden incelenmesi (İlçim 2008)	55 (14.62)	65 (17.28)	14 (3.72)
4	The Flora of Kuyulu Eorision District (Adıyaman/Turkey) (Ekim vd. 2005)	81 (26.7)	3 (10.2)	1 (0.3)
5	Malatya İli Florası (Karakuş 2016)	892 (42.81)	163 (7.82)	80 (3.84)
6	Gazihan Dede Mesire Alanının (Adıyaman) Flora ve Vegetasyonu (Ortaç 2019)	87 (29.29)	39 (13.14)	17 (5.73)
7	The flora of Kalecik Mountain (Şanlıurfa, Turkey) (Aydoğdu 2005)	93 (39.07)	20 (8.40)	4 (1.68)
8	Tektek Dağları (Şanlıurfa) Florası (Kaya 2002)	83 (31.9)	39 (15.0)	3 (1.2)
9	Berit Dağı'nın (Kahramanmaraş) Floristik özellikleri (Yıldız 2001)	320 (28.2)	170 (15)	63 (5.6)
10	Türkiye florası üzerine (Erik ve Tarikahya 2004)	1373 (36)	1263 (33)	261 (7)

Araştırma alanı ile diğer bölgelerde yapılan bazı floristik çalışmaların en fazla takson içeren familyaları karşılaştırıldığında; Araştırma alanında ilk 5 familya sırası ile: Asteraceae %11,7, Fabaceae %9,8, Lamiaceae %7,1, Caryophyllaceae %6,5, Brassicaceae %6,2 şeklinde sıralanmaktadır. En fazla cins içeren taksonlara baktığımızda *Astragalus* %3,2, *Silene* %1,8, *Allium* %1,7, *Veronica*, *Euphorbia*, *Galium* %1,5 ve *Minuartia* %1,2 ile sıralanmaktadır. [3,6,8]'nci çalışmalar dışında kalan diğer çalışmalar takson bakımından *Astragalus* cinsi en fazla takson içermektedir (Çizelge 4.3).

[1,2,5,6,9] numara ile gösterilen çalışmalarda Türkiye'de en fazla takson içeren Familyalara paralel olarak Asteraceae ilk sırada Fabaceae ise bunu takip etmektedir. [4,7,8] ile gösterilen çalışmalarda ise Fabaceae ilk sırada Asteraceae bunu takip etmektedir. Diğer familyalar ise değişkenlik göstermektedir. Tüm çalışmalara dikkat edildiğinde en fazla takson içeren familyalar Asteraceae, Fabaceae, Lamiaceae, Caryophyllaceae, Brassicaceae, Poaceae, Rosaceae, Apiaceae'dir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 En büyük ilk 5 familya ve cinse göre yakın bölgelerde yapılan floristik çalışmaların karşılaştırılması

NO	Çalışmanın Adı (Yazar, yıl)	En büyük 5 familya (%)	Cins -takson sayıları (%)
1	Araştırma alanı	Asteraceae 102 (11.7) Fabaceae 85 (9.8) Lamiaceae 62 (7.1) Caryophyllaceae 57 (6.5) Brassicaceae 54 (6.2)	<i>Astragalus</i> 28 (3.2) <i>Silene</i> , <i>Allium</i> 16 (1.8) <i>Veronica</i> , <i>Euphorbia</i> , <i>Galium</i> 13 (1.5) <i>Minuartia</i> 11 (1.3) <i>Alyssum</i> , <i>Onosma</i> , <i>Asperula</i> , <i>Trifolium</i> 10 (1,2)

2	Nemrut Dağı florasına katkılar (Adıyaman/Turkey) (Tel 2009)	Asteraceae	35 (14)	<i>Astragalus</i>	9 (3.6)
		Lamiaceae	25 (10)	<i>Alyssum, Silene</i>	7 (2.8)
		Poaceae	23 (9.2)	<i>Allium, Centaurea</i>	6 (2.4)
		Brassicaceae	19 (7.6)	<i>Bromus, Onosma</i>	5 (2)
		Fabaceae	18 (7.2)	<i>Minuartia</i>	5 (2)
3	Şekeroba Çevresinin (K. Maraş) Floristik Yönden incelenmesi (İlçim 2008)	Fabaceae	60 (15.9)	<i>Trifolium</i>	14 (3.72)
		Asteraceae	45 (1.9)	<i>Vicia</i>	11 (2.9)
		Caryophyllaceae	36 (9.5)	<i>Minuartia</i>	10 (2.6)
		Lamiaceae	35 (9.3)	<i>Salvia, Diantus</i>	9 (2.4)
		Poaceae	31 (8.2)	<i>Hypericum</i>	7 (1.9)
4	Kuyulu (Adıyaman) Erozyon Sahasının Florası (Ekim vd. 2005)	Fabaceae	53 (17.4)	<i>Centaurea, Trifolium</i>	9 (3)
		Asteraceae	45 (14.8)	<i>Astragalus</i>	8 (2.6)
		Poaceae	30 (9.9)	<i>Hypericum</i>	6 (2)
		Brassicaceae	23 (7.6)	<i>Vicia, Hedysarum, Papaver</i>	5 (1.7)
		Lamiaceae	15 (4.9)	<i>Trigonella, Medicago</i>	4 (1.327)
5	Malatya İli Florası (Karakuş 2016)	Asteraceae	250 (12.3)	<i>Astragalus</i>	74 (3.5)
		Fabaceae	215 (10.4)	<i>Alyssum</i>	30 (1.4)
		Brassicaceae	150 (7.4)	<i>Allium</i>	28 (1.3)
		Lamiaceae	125 (6)	<i>Verbascum, Silene,</i>	
		Poaceae	124 (5.95)	<i>Veronica</i>	26 (1.2)
6	Gazihan Dede Mesire Alanının (Adıyaman) Flora ve Vegetasyonu (Ortaç 2019)	Asteraceae	43 (14.5)	<i>Salvia, Onosma</i>	25 (1.2)
		Fabaceae/Lami.	27 (9.1)	<i>Inula</i>	8 (2.7)
		Poaceae	20 (6.7)	<i>Euphorbia</i>	7 (2.4)
		Apiaceae	17 (5.7)	<i>Scabiosa</i>	6 (2)
		Rosaceae	12 (4.0)	<i>Hypericum</i>	5 (1.7)
7	The flora of Kalecik Mountain (Şanlıurfa, Turkey) (Aydoğdu 2005)	Fabaceae	56 (23.5)	<i>Convolvulus, Astragalus, Trifolium,</i>	
		Asteraceae	19 (8)	<i>Vicia, Teucrium</i>	4 (1.3)
		Brassicaceae	14 (5.9)	<i>Astragalus</i>	11 (4.6)
		Apiaceae,	14 (5.9)	<i>Vicia</i>	10 (4.2)
		Poaceae	13 (5.4)	<i>Trifolium</i>	8 (3.3)
8	Tek tek Dağları (Şanlıurfa) Florası (Kaya 2002)	Fabaceae	45 (17.2)	<i>Trigonella, Medicago</i>	6 (2.5)
		Asteraceae	38 (14.5)	<i>Salvia</i>	5 (2.1)
		Brassicaceae	29 (11.1)	<i>Trifolium</i>	14 (5.4)
		Lamiaceae	16 (6.1)	<i>Astragalus, Trigonella</i>	5 (1.9)
		Apiaceae	14 (5.4)	<i>Alyssum, Papaver, Erodium,</i>	
9	Berit Dağı'nın (Kahramanmaraş) Floristik özellikleri (Yıldız 2001)	Asteraceae	144 (12.4)	<i>Medicago, Onobrychis,</i>	
		Fabaceae	130 (11.2)	<i>Centaurea, Euphorbia</i>	4 (1.5)
		Brassicaceae	77 (6.6)	<i>Astragalus</i>	42 (3.6)
		Caryophyllaceae	75 (6.4)	<i>Silene</i>	24 (2.0)
		Lamiaceae	73 (6.2)	<i>Salvia</i>	19 (1.6)
10	Türkiye florası üzerine (Erik ve Tarihahya 2004)	Asteraceae	1186 (9.8)	<i>Centaurea</i>	18 (1.5)
		Fabaceae	1013 (8.4)	<i>Euphorbia</i>	17 (1.4)
		Lamiaceae	574 (4.8)	<i>Astragalus</i>	410 (3.4)
		Brassicaceae	539 (4.5)	<i>Verbascum</i>	233 (1.9)
		Poaceae	524 (4.4)	<i>Centaurea</i>	179 (1.5)
				<i>Allium</i>	161 (1.3)
				<i>Silene</i>	136 (1.1)

Araştırma sahasında yer alan ve Ulubaba Dağında bulunan *Rheum telianum* İlçim (Tel Işıkını) taksonu ve Çelikhan Akdağ'da tespit edilen *Allium dönmezii* (Akçadağ körmeni) bilim dünyası için yeni olarak kayıtlara geçmiştir. Floristik liste Çat Baraj Gölü Havzasına ait olduğu için bu iki takson toplam takson sayısına eklenmiş ancak floristik listeye dahil edilmemiştir. Aynı sahada yapılan vejetasyon çalışmalarında tespit edilen *Thymo kotschyani* –

Rheetum telianii ass. nova bitki birliği de bilim dünyası için yeni olarak kayıtlara geçmiştir.

Çat Baraj Gölü Havzasında yapılan vejetasyon çalışması sonuçları ile floristik listesi ilk defa bu çalışmada verilmiştir. Yine Ulubaba Dağı'nda yapılan vejetasyon çalışmalarının sonuçları da yine ilk defa bu çalışmada yer almıştır. Alanda Braun-Blanquet metoduna göre yapılan vejetasyon çalışmaları sonucunda 190 örnek parsel değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda

Çelikhan ilçesi ve yakın çevresinde bilim dünyası için yeni toplam 19 bitki birliğinin varlığı ortaya konmuştur. Bu birliklerden;

6 assosiasyon **orman ve çalı**:

1. *Astragalo gummiferi- Quercetum cerridis* ass. nova
2. *Eleagno angustifoliae-Salixetum bornmuelleri* ass. nova
3. *Allio stamineae – Platanetum orientalis* ass. nova
4. *Querco brantii – Pinetum brutiae* ass. nova
5. *Hedysaro pogonocarpii – Amygdaletum arabicae* ass. nova
6. *Aethionemo lepidioidis – Quercetum cerridis* ass. nova

13 assosiasyon **step ve alpin step**:

1. *Buniobrevipii – Tanacetetum amanii* ass. nova
 2. *Elymo divaricatae- Astragaletum lamarckii* ass. nova
 3. *Aristolochio maurarii-Onosmetum nemoricolii* ass. nova
 4. *Gentiano olivieri- Phlometum kurdicae* ass. nova
 5. *Allio orientalis – Centranthetum longiflorii* ass. nova
 6. *Poo pseudobulbosae – Astragaletum muschianii* ass. nova
 7. *Asperulo serotinae – Centranthetum longiflorii* ass. nova
 8. *Cousinio foliosae – Astragaletum gummiferi* ass. nova
 9. *Marrubio globosii – Tanacetetum amanii* ass. nova
 10. *Thymo migricii – Hypericetum scabrii* ass. nova
 11. *Helichryso aucherii – Acantholimetum multiflorii* ass. nova
 12. *Thymo kotschyani – Rheetum telianii* ass. nova
 13. *Cyclotrichidoniveae- Pennisetetum orientalis* ass. nova
- vegetasyon tipine aittir.

Son iki yılda tespit edilen iki takson (*Rheum telianum* ve *Aliium dönmezii*) ve yukarıda verilen 19 bitki birliğinin (Assosiasyon) hepsinin de bilim dünyası için yeni olması çalışma alanının önemi hakkında fikir

verebilmektedir. Bunun yanında, alanımızdaki çalı ve orman vegetasyonunun “bozuk orman vegetasyon tipine” ait olması bölgede tahribin göstergesidir. Bitki örtüsü, bilhassa endemik türler bakımından zengin olan alanlara yönelik koruma tedbiri gerekebilir. Bölgede yapılan araştırmalar sırasında insanların araştırma alanı ve çevresinde kapasitenin çok üstünde hayvan otlattıkları görülmüştür, bu durumun bitki örtüsünü olumsuz yönde etkileyeceği açıktır. Tarım alanlarında kullanılan zirai ilaçlar su ve rüzgâr yoluyla doğal alanlara taşınmakta ve çevresel kirliliğe sebep olmaktadır. Bölge halkına “koruma bilinci” sağlamak adına çeşitli eğitimler verilebilir.

Teşekkür

Bu çalışmanın bir kısmı (Ulubaba Dağı) Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından desteklenmiştir (Proje No: FEFYL/2013-0003). İlgili kuruma maddi desteğinden dolayı teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

- Akman, Y., 1990. İklim ve Biyoiklim. Palme Yayınları Mühendislik Serisi, Ankara, 115-308.
- Altınayar, G., 1987. Bitki Bilimleri Terimleri Sözlüğü. D.S.İ. Basım foto-film İst. Müd. matbaası, Ankara, 1-305.
- Anonim, 2015. Türkiye’de İntrazonal Topraklar, [www.dicle.edu.tr/a/skaradogan/4/azonal_intrazonal .pdf](http://www.dicle.edu.tr/a/skaradogan/4/azonal_intrazonal.pdf)
- Avcı, H., 2019. Akdağ (Çelikhan/Adıyaman) Florası. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 177.
- Aydoğdu. M., 2005. The flora of Kalecik Mountain (Şanlıurfa, Turkey), *TurkishJournal of botany*, **2**, 155-174.
- Brumitt, R. K., Powell, C. E., 1992. Authors of Plants Names. Kew: Royal Botanic Gardens.
- Davis, P. H., 1965-1985. Flora of Turkeyandthe East Aegean Islands. Vol.; 1-9. Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Davis, P.H., Mill, R.R. and Tan, K., 1988. Flora of Turkeyandthe East AegeanIslands (Supplement). Vol.; 10. Edinburgh University Press, Edinburgh.

- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2012. Çelikhan, Adıyaman, Malatya, Meteoroloji İstasyonlarına Ait Rasat Değerleri.
- Ekim, T., Koyuncu, M., Vural, M., Duman H., Aytaç Z., Adigüzel, N. 2000. Red Data Book of Turkish Plants (Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı), Türkiye Tabiatını Koruma Derneği, Ankara, 1-196.
- Ekim, T., Akan, H., Çetin, E., Polat. T. 2005. The Flora of Kuyulu Erosion District (Adıyaman/Turkey), *Asian Journal of Plant Sciences* 4, 2, 171-173.
- Ekim, T. 2014. "Damarlı Bitkiler" Ed. Güner, A., Ekim, T. Resimli Türkiye Florası. Cilt 1, Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Yayınları, Flora Dizisi 2. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, Genel Yayın No:3090, İstanbul, 159-162.
- Emberger, L. 1954. Une classification biogéographiquedes climats. Recueil Trav. Lab. Bot. Géol. Zool. Fac. Sci. Univ. Montpel., sér. Bot., 7, 3-43.
- Erik, S., Tarıkayha, B. 2004. Türkiye Florası üzerine. *Kebikeç İnsan Kaynakları Araştırmaları Dergisi*, 17, 139-163.
- Gausson, H., 1955. Determiation des climants par la methode descourbe sam brothermiques, C.R.Ac., Sc. E.
- Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T. and Başer K.H.C., 2000. Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Supplement 2). Vol: 11. Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babaç, M. T. (edlr.). (2012). Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler), Nezahat Gökyiğit Botanik ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, Flora Dizisi I, İstanbul.
- Gürbüz, M., Karabulut, M, Küçükönder, M., 2007. Gölbaşı Gölleri Sulak Alan Ekosistemi Yönetim Planı M. Tübitak Proje No 105G051.
- IUCN Red List Catagories and Criteria Version 3.1, 2012. Second edition. IUCN Species Survival Commission. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- İlçim, A., Karahan, F., 2020. *Rheum telianum* (Polygonaceae), a new species from southeastern Anatolia (Turkey). *Phytotaxa* 477 1, 081–089.
- İlçim, A., Kocabaş, Y. Z., Başaran H., 2008. Şekeroba Çevresinin (K. Maraş) Floristik Yönden incelenmesi, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11, 1,13-22.
- Karakuş, Ş. 2016. Malatya İli Florası. Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 383.
- Karakuş, Ş., Mutlu, B. 2019. *Allium dönmezii*, a new species of Allium sect. Melanocrommyum (Amaryllidaceae) from Turkey: morphological and molecular evidence. *Phytotaxa* 411 (3): 194–204.
- Karaman, T., Poyraz, N., Bakırhan, B., Alan, Kadıncık, G., Yılmaz, H. ve Kılınc, F. 1993. Malatya-Dogansehir-Çelikhan Dolayının Jeolojisi. MTA Raporu, Derleme No: 9587.
- Kaya, Ö. F., 2002. Tek Tek Dağları (Şanlıurfa) Florası. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 59.
- Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü, 2009. Türkiye Jeolojik haritası, Ankara.
- Ortaç, Z., 2019. Gazihan Dede Mesire Alanının (Adıyaman) Flora ve Vejetasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman, 89.
- Önal, M., Şahinci A., Gözübol A. M., 1986. Yeşilyurt-Çelikhan (Malatya-Adıyaman) Dolayının Hidrojeolojik İncelenmesi, *Jeoloji Mühendisliği*, 29, 5-12.
- Özdemir, M. A., Sunkar, M., 2005. Çelikhan Ovası (Adıyaman) ve Yakın Çevresinde Doğal Ortam insan ilişkileri, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 10, 13, 151-186.
- Sunkar, M., Özdemir, M. A. 2002. Çelikhan Ovası (Adıyaman) ve Çevresinin Jeomorfolojisi, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Elâzığ, 12, 1, 25-46.
- Şimşek, A., 2015. Ulubaba Dağı (Adıyaman) Vejetasyonu Üzerine Fitososyolojik ve Fitoekolojik Çalışmalar. Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman, 114.
- Tak, M., 2015. Çelikhan Çat Barajı (Adıyaman) Havzası'nın Fitososyolojik ve Fitoekolojik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis, 114.
- Tel, A. Z., 2009. Contributions to the flora of Nemrut Mountain (Adıyaman/Turkey) *BioDiCon* 2/1, 36-60.
- Tel, A. Z., Şimşek A. 2017. Ulubaba Dağı'nın (Adıyaman) Vejetasyon Yapısının Endemik ve Nadir Taksonları ve Bunların IUCN Kategorilerine Göre Değerlendirilmesi. *Commagene Journal of Biology*, 1, 1, 51-56.
- Yıldız, B. 2001. Berit Dağı'nın (Şanlıurfa) Floristik Özellikleri. *Turk J. Bot.*, 25, 63-102.

Zohary, M. (1973) Geobotanical Foundations of the Middle East. Vol. 1-2, Gustav Fischer Verlag Press, Stuttgart, Swets & Zeitlinger, Amsterdam.

İnternet kaynakları

- 1- <https://bizimbitkiler.org.tr>, (er. tar.: 17.02.2021)
- 2- The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-3. (er. tar.: 17.02.2021).

- 3- <http://www.iucnredlist.org>, (er. tar.: 17.02.2021).
- 4- <http://www.theplantlist.org>, (er. tar.: 17.02.2021).
- 5- <https://www.ipni.org>, (er. tar.: 17.02.2021).
- 6- <http://earth.google.com/download-earth.html>, (er. tar.: 17.02.2021).
- 7- www.tubives.com, (Türkiye bitkileri veri servisi), (er. tar.: 17.02.2021).

MgO Nanopartiküllerinin *Drosophila melanogaster* Üzerindeki Davranışsal Toksisitesinin Değerlendirilmesi

Ayşen Yağmur KURŞUN¹, Burçin YALÇIN¹, Merve GÜNEŞ¹, Ghada TAGORTİ¹, Bülent KAYA¹

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

Sorumlu Yazar, e-posta: bkaya@akdeniz.edu.tr

e-posta: yagmurrayenkursun@gmail.com

e-posta: byalcin@ogr.akdeniz.edu.tr

e-posta: mgunes@ogr.akdeniz.edu.tr

e-posta: tagortig@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0491-9781>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1657-6808>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9694-5839>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3278-0542>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4597-8320>

Geliş Tarihi: 03.05.2021

Kabul Tarihi: 23.12.2021

Öz

Günümüzde nanopartiküllerin üstün fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesinden sonra nanopartiküller ve nanoteknolojiye olan ilgi de hızlı bir şekilde artmış ve kullanım alanları da yaygınlaşmıştır. Üç fiziksel boyutundan en az biri 1-100 nm aralığında olan ve belirli nano-ölçekli özellikler gösterebilen maddeler olarak tanımlanan nanopartiküller, tıp, elektronik, kozmetik, çevresel temizlik gibi birçok farklı alanda yaygın kullanım alanına sahiptir. Bu yaygın kullanımdan dolayı insanların da nanopartiküllere olan maruziyeti gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca nanopartiküllerin çevreye yayılması doğada ki birçok canlı için risk oluşturmaktadır. Bu sebeple de nanopartiküllerin yol açabileceği olumlu/olumsuz biyolojik etkilerin anlaşılabilmesi için yapılan çalışmalar da hız kazanmıştır. Bu bağlamda yapılan çalışmada MgO nanopartiküllerinin farklı konsantrasyonlarının (2, 5 ve 10 mM) *Drosophila melanogaster* üzerindeki davranışsal toksisiteye etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Davranışsal toksisitenin belirlenmesinde larval ağırlık ve hareketi, ergin birey ağırlığı, pupa oluşturma başarısı, pupa pozisyonu, pupadan çıkış başarısı, negatif jeotaksis ve ömür uzunluğu deneyleri gerçekleştirilerek değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda MgO NP'lerinin genel olarak *Drosophila melanogaster*'da negatif bir etkiye neden olduğu tespit edilmiştir. Larval hareketin incelendiği deney kapsamında çalışma kapsamında en yüksek doz olarak belirlenen 10 mM'lık derişimin istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler

Davranışsal Toksisite;
Magnezyum oksit
nanopartikül; Negatif
Jeotaksis; Ömür
Uzunluğu

Behavioral Toxicity Evaluation of MgO Nanoparticles on *Drosophila melanogaster*

Abstract

Nowadays, after the determination of the superior physicochemical properties of nanoparticles, interest in nanoparticles and nanotechnology has increased rapidly and their usage areas have become widespread. Nanoparticles, which are defined as substances that have at least one of their three physical dimensions in the range of 1-100 nm and can show certain nanoscale properties, have a widespread use in many different fields such as medicine, electronics, cosmetics, environmental cleaning. Due to this widespread use, the exposure of humans to nanoparticles is increasing day by day. In addition, the spread of nanoparticles into the environment poses a risk to many living things in nature. For this reason, studies to understand the positive / negative biological effects that nanoparticles can cause have also gained momentum. In this context, it was aimed to investigate the effect of different concentrations of MgO nanoparticles (2, 5 and 10 mM) on behavioral toxicity on *Drosophila melanogaster*. In determining behavioral toxicity, larval weight and movement, adult weight, pupa formation success, pupal position, exit success, negative geotaxis and longevity tests were performed and evaluated. As a result of the study, it was determined that MgO NPs generally cause a negative effect on *Drosophila melanogaster*. Within the scope of the experiment in which the larval movement was examined, it was determined that the concentration of 10 mM, which was determined as the highest dose within the scope of the study, caused a statistically significant decrease.

Keywords

Behavioral Toxicity;
Magnesium oxide
nanoparticle; Negative
geotaxis; Life span

1. Giriş

“Nanoteknoloji” terimi Nobel ödüllü bilim insanı Richard P. Feynman tarafından sunulduğu andan itibaren bir araştırma alanı olarak tanımlanmıştır ve günümüzde de kullanılmaktadır (Khan *et al.* 2019, Feynman 1960). Bu gelişmeyi takiben bu alanda yapılan araştırmalar ile nano ölçek düzeyinde malzemeler üretilerek çok önemli aşamaya geçilmiştir (Khan *et al.* 2019). Nanopartiküller (NP’ler) olarak tanımlanan bu malzemeler, en az bir boyutu 100 nm’den küçük olan partikül maddeleri içeren geniş bir malzeme sınıfı olarak tanımlanmıştır (Laurent *et al.* 2008).

Nanopartiküller farklı kriterlere göre sınıflandırılabilirler. Bunlar; kökenlerine göre; doğal ve antropojenik, boyutlarına göre; 1-10 nm, 10-100 nm ve 100 nm’den büyük olanlar ve kimyasal bileşenlerine göre; inorganik maddeler, organik maddeler ve elementler şeklindedir (Strambeanu *et al.* 2015). NP’ler laboratuvar koşullarında sentetik olarak üretilmesinin yanı sıra doğal olaylar sonucunda da meydana gelebilmektedir. NP’lerin doğal kaynakları arasında volkanik kül, çöl tozları, aerosoller örnek olarak verilebilmektedir (Strambeanu *et al.* 2015, Bernhardt *et al.* 2010). Amerikan Çevre Koruma Örgütü (USEPA)’ya göre NP’ler 4 farklı başlık altında toplanmaktadır. Bunlar; karbon bazlı NP’ler, metal bazlı NP’ler, dendrimerler ve nanokompozitlerdir. Metal bazlı nanomateriyaller kuantum noktaları, nano altın, nano gümüş ve titanyum dioksit gibi metal oksitleri bulundurmaktadır (USEPA 2007).

NP’lerin çok farklı çeşitte ve boyutta bulunabilmeleri sayesinde ilaçların farmakolojik ve terapötik etkilerini geliştirme, moleküler görüntüleme, ilaç dağıtımı ve ayrıca NP’lerin yüzeylerine bağlanabilecek fonksiyonel gruplar sayesinde tümörlerle mücadele için yeni yöntemler olmak üzere çeşitli alanlarda sıklıkla kullanılmaktadırlar (Krishna *et al.* 2017). Hem doğal hem de antropojenik kökenli NP’ler, farklı çevresel matrislerde (hava, su, çamur, tortu ve toprak), olası birikimle (özellikle toprakta, çamurda ve su havzalarında) bulunabilmektedirler. Bitkiler kökleri, gövdeleri ve yaprakları ile çevresel matrislerle doğrudan etkileşime girerek diğer canlı

organizmalara kıyasla NP kontaminasyonundan daha fazla etkilenebilmektedirler (Giorgetti 2019). İnsanların özellikle metal bazlı NP’lere olan maruziyeti, NP’lerin doğal olarak ortaya çıktıkları su, hava ve NP’lerle kontamine olmuş gıda ürünlerinde bir kirletici madde olarak bulunmaları veya antropojenik faktörlerdeki giderek artan aktivite nedeniyle önemli ölçüde artmaktadır (Mahmoud *et al.* 2016).

Organizmalar NP’leri farklı şekillerde bünyelerine alabilir ve bu şekilde NP’ler etkilerini gösterebilir, fakat bu durumu belirleyen kriterler NP’ün yüzey kaplaması, boyutu ve yapısı gibi faktörlerdir (Baker *et al.* 2014, Bhatt and Tripathi 2011). NP’lerin insanlarda solunum, sindirim veya deri yoluyla kan dolaşımına geçebileceğini ve daha sonra beyin, kalp ve karaciğer gibi ikincil organlara ulaşabileceği gösterilmiştir (Elsaesser and Howard 2012). NP hücre zarına etki ederek, hücrenin porlarını ve zar fonksiyonlarını bloke edebilir (Nabika and Unoura 2016). Ayrıca, NP’in hücreye endositoz yoluyla, porlardan difüzyon yoluyla veya iyon taşıma sistemlerini kullanarak da girişleri mümkündür. NP hücreye girdikten sonra, elektron taşıma süreçlerine müdahale edebilir veya organel işlevlerini bozarak reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimine neden olabilirler. Hücrede ROS üretimi ise nükleik asit hasarı, protein oksidasyonu veya hücre membran yapısının bozulması gibi zararlı etkilere neden olabilir (Baker *et al.* 2014). Literatürde NP’ye maruziyetin organizmada farklı davranışsal bozukluklara neden olduğunu gösteren çeşitli çalışmaları görmek mümkündür (Chen *et al.* 2020, Asmonaite *et al.* 2016, Li *et al.* 2014). Fakat bu konunun daha iyi anlaşılabilmesi için farklı model organizmalarla daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir. Ayrıca literatüre bakıldığında MgO NP’lerin toksikolojik etkilerinin araştırıldığı çalışmalar kısıtlı olduğundan bu NP’lerin güvenilirliği hakkında kapsamlı değerlendirmeler yapılamamaktadır (Mahmoud *et al.* 2016). Bu nedenle çalışmamız bu konunun daha net değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

MgO NP’leri ise gıda katkı maddeleri (E530), seramik malzemeler, korozyon önleyici olarak, katalizör, redaktör, petrokimya ürünlerinin sentezinde, biyomoleküler teşhis ve tedavi gibi çeşitli alanlarda

kullanılmaktadır (Mangalampalli *et al.* 2018a, Alqahtani and Alomar 2016, Mahmoud *et al.* 2016). Ayrıca, MgO NP'leri, diğer birçok farklı inorganik metal oksitler arasında elde edilmesi nispeten kolay olan antibakteriyel bir ajandır (Cai *et al.* 2018).

Çalışma kapsamında çok çeşitli alanlarda kullanılmakta olan MgO NP'lerinin 2, 5 ve 10 mM'lık konsantrasyonlarının *Drosophila melanogaster* larvalarındaki gelişim, ömür uzunluğu ve lokomotor aktivitelerine olan etkisi incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Tüm deneylerde *Drosophila* Oregon R+ hattından 8 saatlik yumurtalar toplanmıştır. Toplanan yumurtalar 72±4 saatlik (3. larval evre) olduklarında MgO NP'lerinin 3 farklı konsantrasyonuna maruz bırakılmıştır. Maruziyet, 72±4 saatlik larvaların yaklaşık 4.5 gramı kuru halde bulunan *Drosophila* hazır besininin (*Drosophila* Instant Medium) MgO NP'lerinin farklı konsantrasyonlarının 9 ml'si ile ıslatılmasıyla oluşan besin ortamına aktarılması ile gerçekleştirilmiştir. Her konsantrasyon 3 tekrarlı olacak şekilde deneyler planlanmıştır. Ayrıca tüm deney gruplarında negatif kontrol grubu olarak konsantrasyonların hazırlanmasında kullanılan distile su uygulaması yapılmıştır. Negatif kontrol grubundan elde edilen sonuçlar ile istatistiksel karşılaştırma yapılmıştır.

2.1 Pupa Oluşturma ve Pupadan Çıkış Başarısı

Uygulama tüplerindeki derişime kronik olarak maruz kalan bireylerin larval dönemin sonuna kadar bu besin ile beslenmesi ve pupa evresini de aynı tüplerde geçirmeleri sağlanmıştır. Pupadan çıkan bireyler kaydedilmiştir ve (ergin sayısı/50) x % 100 formülü ile pupadan çıkış yüzdesi hesaplanmıştır. Aynı uygulama kullanılarak oluşan pupalarda not edilerek pupa oluşturma başarısının ölçümü yapılmıştır (Liu *et al.* 2020).

2.2 Pupa Pozisyon Ölçümü

Pupa pozisyon ölçümü deneyi düzenegği Fauzi vd. (2020)'nin çalışmasındaki kriterler esas alınarak oluşturulmuş ve sonuçların değerlendirilmeside bölgelerde yer alan pupaların yüzde olarak incelenmesiyle yapılmıştır. Maruziyet pupa oluşumunun bitişine kadar sürdürülmüştür.

Uygulama tüpü besin yüzeyinden (BY) itibaren eşit aralıklarla (1,3 cm) belirlenen işaretlemeler kullanılarak 4 farklı bölgeye ayrılmıştır ve bu bölgelerden yararlanılarak, larvaların oluşturdukları pupaların yükseklikleri belirlenmiştir. Uygulama tüpü olarak 50 ml'lik Falcon tüp kullanılarak bölgelerin eşit mesafelerde (1,3 cm) ayrılmasına olanak sağlanmıştır. Besin yüzeyinden (BY) yukarı doğru sırasıyla D, C, B ve A olarak toplam 4 bölge işaretlenmiştir. Pupa pozisyon ölçüm deneyi 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

2.3 Larval ve Ergin Birey Ağırlık ve Larval Hareketin Ölçümü

24 saatlik maruziyetin ardından larval ağırlık ölçümü için her bir uygulama grubundaki larvalar ince gözenekli bir elek yardımı ile musluk suyu altında toplanmış ve her bir uygulama için 10 larva hassas terazide tartılarak ağırlık ölçümü gerçekleştirilmiştir. Deney 3 tekrarlı olarak yapılmıştır.

Larval hareketin ölçümü için % 2'lik agar ile kaplanan petri kâğıtları kullanılmıştır. Petri ortasına yerleştirilen 1 larvanın 1 dakika boyunca kat ettiği mesafe milimetrik kâğıt yardımıyla ölçülmüştür. Her konsantrasyon için 29 larva hareketi ölçülmüş ve deney 3 tekrarlı olarak yürütülmüştür. Deney sonucunda her konsantrasyon için yapılan 3 tekrarlı ölçümün ortalaması alınarak istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir (Dhar *et al.* 2020).

Ergin birey ağırlık ölçümü için *D. melanogaster* larvaları ergin hale gelinceye kadar MgO NP'lerine maruz bırakılmıştır. Pupadan çıkan bireyler her tekrar grubu için 10 dişi ve 10 erkek birey şeklinde olmak üzere 20 bireyin ağırlığı ölçülerek 3 tekrarlı şekilde gerçekleştirilmiştir.

2.4 Negatif Jeotaksis Deneyi

D. melanogaster larvaları ergin hale gelinceye kadar MgO NP varlığında gelişimlerini tamamlamışlardır. Ergin hale gelen sinekler maruziyet ortamından uzaklaştırılarak negatif jeotaksis deneyi için 10 cm uzunluğundaki boş plastik tüplere aktarılmıştır. Her bir plastik tüpe 30 ergin birey aktarılmış ve deney 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Plastik tüp içerisine alınan sineklerin tüp tabanına indirerek hepsinin aynı noktadan başlaması sağlanmış ve 10

sn süre içerisinde 10 cm yüksekliği geçen bireyler not edilmiştir (Manjila and Hasan 2018).

2.5 Ömür Uzunluğu Deneyi

Her deney grubu için 50 tane 72 ± 4 saatlik larvaların yaklaşık 4.5 gramı kuru halde bulunan *Drosophila* hazır besininin (*Drosophila* Instant Medium) hazırlanan MgO NP'lerinin farklı konsantrasyonlarının 9 ml'si ile ıslatılmasıyla oluşan besin ortamına alınmasıyla ömür uzunluğu deneyi başlatılmıştır. Her konsantrasyon için deney 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Deneyin sürdürülebilirliği için Lindford vd. (2013)'e göre larvalar ergin hale geldikten sonra 2 günde bir yeni uygulama tüplerine alınarak tekrar MgO NP maruziyetinin devamlılığı sağlanmıştır. Her iki günde bir gerçekleşen aktarmalar sırasında ölen sinekler not edilmiştir.

2.6 İstatistiksel Analiz

Larval ve ergin birey ağırlıkları ölçümleri ve larval hareket ölçümlerinden elde edilen sonuçların istatistiksel hesaplamaları SPSS 20 Paket Programında One-way ANOVA (Dunnet) testi ile yapılmıştır. Pupa oluşturma, pupadan çıkış başarısı ve negatif jeotaksis deneylerinden elde edilen sonuçlar ise SPSS 20 Programında One-way ANOVA (Kruskal-Wallis) testi ile değerlendirilmiştir. Ömür uzunluğu ölçüm sonuçları ise SPSS 20 Paket Programında yer alan Kaplan-Mayer testi ile değerlendirilmiştir. Pupa pozisyon deney sonuçları da SPSS 20 Paket Programı üzerinden ki kare testi ile değerlendirilmiştir.

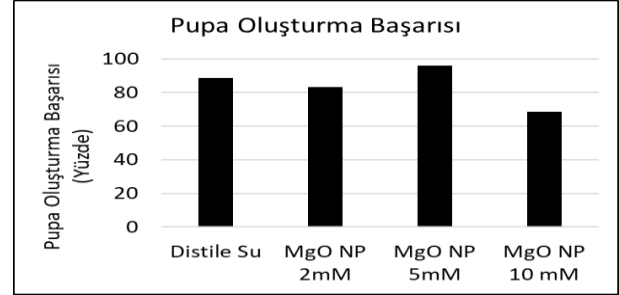
3. Bulgular

Deneylerden elde edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirmesi yapıldığı zaman MgO NP maruziyetinin larval hareket dışında herhangi bir test yönteminde istatistiksel olarak anlamlı bir değişikliğe yol açmadığı tespit edilmiştir.

3.1 Pupa Oluşturma ve Pupadan Çıkış Başarısı

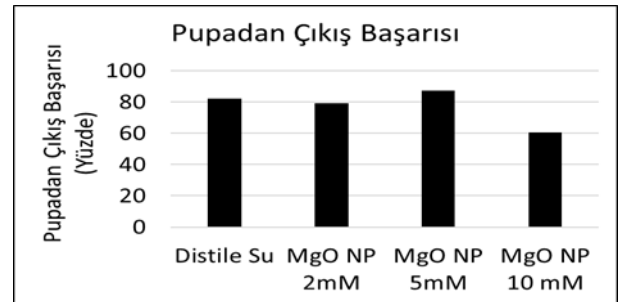
Pupa oluşturma başarısının ölçülmesi sonucunda distile su uygulaması için kullanılan larvaların yüzde %82'sinin pupa oluşturabildiği fakat en yüksek doz olan 10 mM'lık MgO NP uygulanmasıyla pupa oluşturma başarısının Şekil 1'de görüldüğü gibi

%60'lara gerilediği tespit edilmiştir. Fakat deney sonucunda toplanan verilerin istatistiksel olarak incelenmesi sonucunda deney grupları arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmüştür.



Şekil 1. *Drosophila* larvaların MgO NP maruziyeti sonucunda pupa oluşturma başarısı

Pupadan çıkan ergin bireylerin sayılmasıyla elde edilen sonuçlar Şekil 2'de gösterilmiştir. Distile suya kıyasla MgO NP uygulamasının en yüksek konsantrasyonunda pupadan çıkış başarısının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Fakat bu düşüşün kontrol grubuna kıyasla anlamlı bir farklılık yaratmadığı sonucuna varılmıştır.

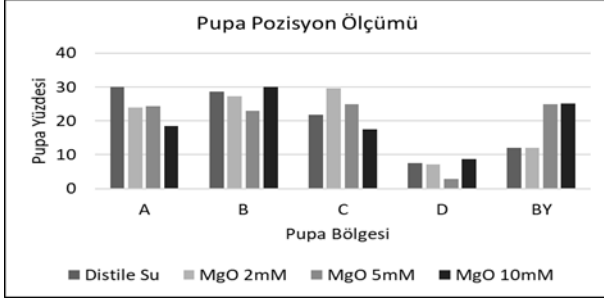


Şekil 2. *Drosophila* larvaların MgO NP uygulaması sonucunda pupadan çıkış başarısı

3.2 Pupa Pozisyon Ölçümü

Pupa pozisyon ölçümü sonuçları Fauzi vd. (2020)'nin çalışmasında belirttiği kriterler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Yapmış olduğumuz ki kare analiz sonucuna göre konsantrasyonlar ile oluşan pupa yükseklikleri arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemesine rağmen negatif kontrol grubundaki larvaların tüp yüzeyinde en yüksek bölge olarak belirlenen A bölgesinde diğer gruplara kıyasla belirgin bir farkla daha yüksek oranda pupa oluşturdıkları gözlemlenirken, 10 mM'lık uygulamanın en yüksek bölgeye daha düşük bir oranda ulaştıkları ve daha çok besin yüzeyinde (BY) ya da A bölgesinden daha aşağıdaki bölgelerde pupa oluşturdıkları görülmüştür. Benzer şekilde diğer uygulama dozlarında da pupa oluşturdıkları

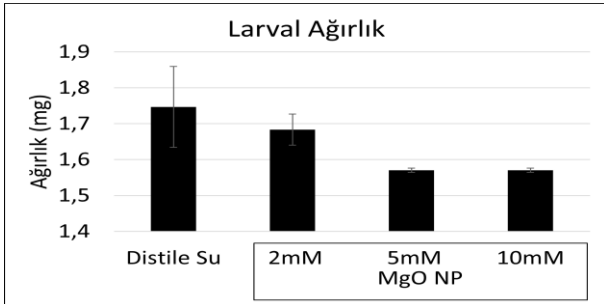
yüksekliklerde bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. *D. melanogaster* larvalarında MgO NP maruziyeti sonucunda oluşan pupaların yükseklik değişimleri

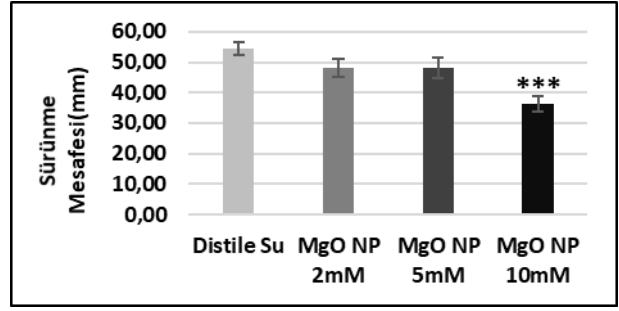
3.3 Larval Ağırlık ve Hareketin Ölçümü

D. melanogaster larvalarının 24 saatlik MgO NP'lerine maruziyeti sonucunda larva ağırlığı açısından istatistiksel anlamda bir farklılık tespit edilmemiştir. Fakat elde edilen veriler incelendiğinde Şekil 4'de görüldüğü üzere 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilen ağırlık ölçümünde konsantrasyona bağlı olarak, larvaların ortalama ağırlığında bir azalma olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. *D. melanogaster* larvalarında MgO NP maruziyeti sonucunda oluşan larval ağırlık değişimleri

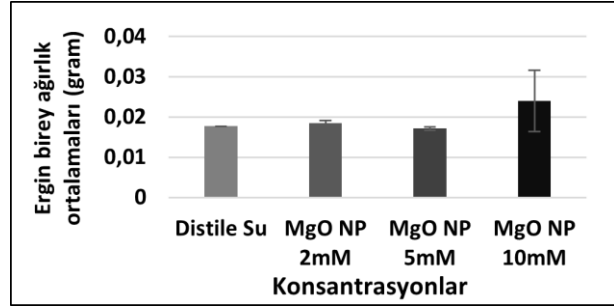
Larval hareketin ölçümü sonucunda 10 mM'lık konsantrasyonda MgO NP uygulamasının larva hareketinde distile suya göre istatistiksel olarak anlamlı bir azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir ($p=0,000038$). Ancak istatistiki olarak anlamlı olarak değerlendirme olmamasına rağmen MgO NP'lerinin 2 ve 5 mM'lık konsantrasyonlarında da distile suya göre larval harekette bir azalma olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. *D. melanogaster* larvalarında MgO NP maruziyeti sonucunda larval hareket mesafelerinin değişimleri (***) $p<0,001$

3.4 Ergin Birey Ağırlık Ölçümü

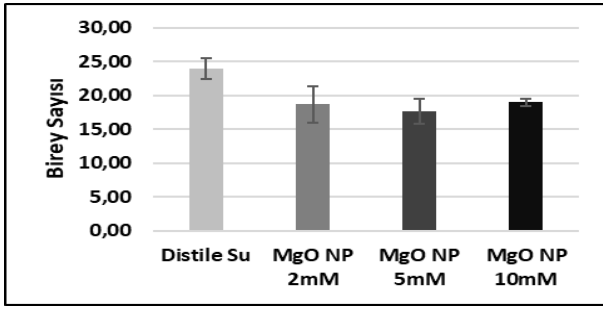
Ergin birey ağırlık ölçümü için gerçekleştirilen deney sonucuna göre her tekrar grubu için 20 birey tartılmış ve 3 tekrar grubunun ortalaması alınarak Şekil 6'da gösterilen veriler elde edilmiştir.



Şekil 6. *D. melanogaster*'de MgO NP maruziyeti sonucunda oluşan ergin birey ağırlık değişimleri. Deney sonucunda elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirildiğinde negatif kontrol grubuna kıyasla gruplar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Ancak diğer gruplara kıyasla MgO NP 10mM'lık konsantrasyona maruz kalan bireylerin ağırlık ortalamasının daha yüksek olduğu görülmüştür.

3.5 Negatif Jeotaksis Deneyi

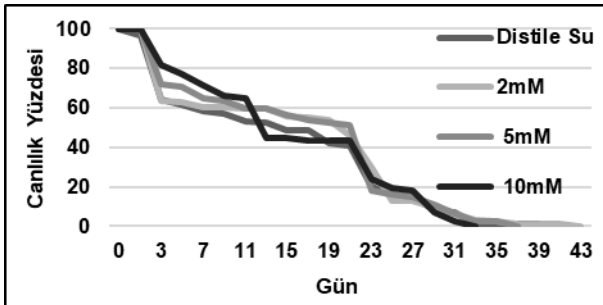
Negatif jeotaksis deneyi sonucunda 30 sinekten 10 sn'de 10 cm'lik mesafeyi aşan sineklerin sayısını gösteren veriler Şekil 7'de gösterilmiştir. MgO NP'lerinin 2, 5 ve 10 mM'lık konsantrasyonlarına maruz bırakılan larvaların erginlerinde distile suya kıyasla uçuş hareketleri bakımından bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Fakat bu azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (Şekil 7).



Şekil 7. *D. melanogaster* larvalarında MgO NP maruziyeti sonucunda ergin hale gelen bireylerin negatif jeotaksis deney sonuçları

3.6 Ömür Uzunluğu Deneyi

D. melanogaster larvaları yumurtadan itibaren MgO NP'lerinin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılarak gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen veriler Şekil 8'de verilmiştir. Ömür uzunluğu deneyi sonucunda ilk olarak en yüksek konsantrasyon olan MgO NP'nin ergin hale geldikten 33 gün sonra öldükleri tespit edilmiştir. 10 mM'lık grubun ardından en kısa ikinci ömür uzunluğuna sahip olan grubun 5mM'lık olduğu ve ardından distile su ve 2mM'lık grubun geldiği tespit edilmiştir. Gün olarak incelendiğinde en yüksek konsantrasyondan distile suya göre ömür uzunluklarının sırasıyla; 33, 37, 43 ve 41 gün olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen Kaplan-Mayer istatistik analizine göre distile sudan en yüksek konsantrasyona göre ortalama ömür uzunlukları sırasıyla 16.73, 18.14, 18.56 ve 18.51 gün olarak tespit edilmiştir. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre konsantrasyonlar arasında ortalama ömür uzunluğu açısından anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 8. *D. melanogaster*'de MgO NP maruziyetinin ömür uzunluğuna etkisi

4. Tartışma ve Sonuç

Nanoteknoloji günümüzde bilgi ve iletişim teknolojilerinde, daha güçlü ve aynı zamanda daha hafif malzemelerin üretilmesinde ve su

dekontaminasyonu gibi çeşitli alanlarda fayda sağlamaktadır (Benelmekki 2015). Aynı zamanda nanoteknoloji, inovasyonu sağlamak için nano ölçekteki malzemelerin benzersiz özelliklerinden yararlanmayı içermektedir (USEPA 2007).

NP'ler sahip oldukları uygulama potansiyelleri sayesinde pek çok araştırma ve teknoloji dalında, örneğin tıbbi teşhis ve tedavi cihazları, gıda sektörü gibi tüketiciyle ilgili alanlarda giderek daha fazla kullanılmaktadır (Mittag *et al.* 2019). Gıdaların korunmasında veya iyileştirilmesi için kullanımları NP'lerin oral alınımı ile sonuçlanabilmektedir (McClements and Xiao 2017). NP'ler küçük boyutları nedeniyle kan ve lenfatik sisteme nüfuz edebilmekte ve sonucunda vücut dokularına ve organlarına yayılabilmektedir (De Matteis 2017). Tüm bu bilgilerin bir sonucu olarak ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA) nanoteknoloji ile ilgili potansiyel çevre, sağlık ve güvenlik sorunlarının ele alınması gerektiği vurgulamaktadır (USEPA 2007).

Metal oksit NP'leri, toksik potansiyele sahiptir (Ivask *et al.* 2015, Karlsson *et al.* 2008, *et al.* 2009). Bu toksitenin ardında yatan mekanizmada, metal iyonlarının salınımı önemli bir faktördür. Metal oksit NP'lerin sitotoksik özellikleri de hücre içi metal iyon salınımından kaynaklanmaktadır. Salınan metal iyonları ise hücrede oksidatif stres ve inflamasyona neden olarak zararlı etkilerini göstermektedir (Horie *et al.* 2018). Bir metal oksit NP olan ZnO NP'lerinin genotoksik etkilerinin araştırıldığı çalışma sonucunda ZnO NP maruziyetinin HEK293 (insan embriyonik böbrek hücre hattı) ve NIH/3T3 (fare embriyonik fibroblast hücreleri) hücre hatlarında mikronükleus frekansında ve DNA hasarında artışa neden olduğu gösterilmiştir (Demir *et al.* 2014). Demir vd. (2015) yapmış oldukları bir diğer çalışmada ise farklı bir metal oksit NP olan Titanyum dioksit NP'lerinin HEK293 (insan embriyonik böbrek hücre hattı) ve NIH/3T3 (fare embriyonik fibroblast hücreleri) hücre hatlarında genotoksik etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda Titanyum dioksit NP'lerinin mikronükleus frekansında ve DNA hasarında bir artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca metal oksit NP'lerinin *D. melanogaster*'de genotoksisiteyi indüklediği gözlemlenmiştir (Ertuğrul *et al.* 2020, Güneş *et al.* 2018).

Bindhu vd. (2016) gerçekleştirdikleri çalışmada MgO NP'lerinin antibakteriyel etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Araştırma kapsamında MgO NP'lerinin kültür ortamında bulunan *Staphylococcus aureus*'a karşı son derece etkili bir antibakteriyel etki gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmaya ilave olarak MgO NP'lerin *Escherichia coli* üzerine de zararlı etkileri olduğunu ve bu zararlı etkileri canlının hücre zar bütünlüğünü bozarak ya da düzensiz bir hücre zarı meydana getirerek gerçekleştirdiği bilinmektedir (Jin and He 2011). MgO NP'lerinin yoğun kullanımı, hem çevrenin hem de insanların giderek artan bir maruziyetine yol açmaktadır. Bu nedenle MgO NP'lerinin etkilerinin farklı yönleri ile incelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Hwang *et al.* 2012). Ayrıca Rico vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada MgO NP nin de dahil olduğu bazı NP'lerin bitki biyosistemi üzerinde olumsuz etkileri olduğu gösterilmiştir. Mangalampalli vd. (2018b) *Allium cepa* üzerinde MgO NP maruziyetini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda MgO NP'lerinin bir indikatör olarak kullanılan *A. cepa*'da konsantrasyon arttıkça kromozomal aberasyonların ve oksidatif stresin arttığını ortaya koymuşlardır.

Literatürde yer alan bazı çalışmalarda MgO NP'lerinin hücre modellerinde toksik etkisinin olmadığını belirten birçok çalışma mevcuttur. Örneğin MgO NP'lerinin hücre sayısını veya metabolik aktiviteyi etkilemediği belirtilmiştir (Wilhelmi *et al.* 2012, Ge *et al.* 2011, Gerlof *et al.* 2009). Ayrıca, MgO NP'lere maruziyetin herhangi bir apoptotik veya nekrotik etkiye neden olmadığı da tespit edilmiştir (Wilhelmi *et al.* 2012). Diğer taraftan MgO NP'lerin tetiklediği toksik etkiler de tespit edilmiştir. MgO NP ile muamele edilmiş hücrelerde morfolojik değişiklikler ve azalmış hücre canlılığı, hücre sayısında azalma, mitokondriyal ve lizozomal aktivitede azalma gibi etkiler meydana getirdiği belirtilmiştir (Mittag *et al.* 2019). Literatürdeki MgO NP'lerinin toksitesi üzerindeki farklı sonuçların olması MgO NP'lerin toksitesi hakkında genel bir değerlendirme yapmayı zorlaştırmaktadır (Mittag *et al.* 2019). Bu yüzden MgO NP hakkında daha fazla bilgiye sahip olunabilmesi için ek çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda MgO NP'lerinin *D. melanogaster* üzerindeki davranışsal değişikliklere

neden olup olmayacağının tespit edilmesinin amaçlandığı bu çalışma literatürde bu konudaki eksikliğin giderilmesinde katkı sağlamaktadır.

Ksenobiyotiklerin toksikolojik değerlendirilmesinde davranışsal testler yaygın olarak kullanılmaktadır (Chen *et al.* 2014, Truong *et al.* 2012). Davranış testlerinden elde edilen veriler, kimyasal etkilerin tespitinde hassas, spesifik ve güvenilir olmanın yanı sıra, temel araştırmada düzenleyici kararlar ve mekanik değerlendirmeler için de yararlı olabilmektedir. Ayrıca davranışsal değişimler, kimyasal maruziyetin ilk ölçülebilir etkisi olduğundan dolayı toksite değerlendirmelerinde kullanılan önemli araştırma alanlarından biridir. Çünkü maruziyet sonucunda ortaya çıkan klinik belirtiler veya yapısal lezyonların görülmesinden önce canlıda davranışsal tepkiler belirlenebilmektedir. Özellikle davranışsal değişikliklerin hassas veya daha iyi bir test yöntemi olmayı amaçlamaktan çok canlının genel vücut işleyişini yansıtması oldukça önemlidir (Philbert 2010).

Literatürde NP'lere maruziyetin organizmada çeşitli davranışsal bozukluklara neden olduğunu gösteren çeşitli çalışmalar mevcuttur (Chen *et al.* 2020, Asmonaite *et al.* 2016, Li *et al.* 2014). Asmonaite vd. (2016) Zebra balığı üzerinde yapmış oldukları davranışsal toksite çalışmasında Ag⁺ ve Ag NP maruziyetinin Zebra balığında gelişim üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu, yumurtadan çıkmayı engellediğini ve balığın hareket kabiliyetini değiştirdiğini ve bu doğrultuda hareketsizliğe neden olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmaya benzer şekilde yapmış olduğumuz çalışma sonucunda MgO NP uygulamasının *D. melanogaster*'da pupa oluşturma ve pupadan çıkış başarısında azalmaya yol açarak olumsuz etkilere neden olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

Başka bir çalışmada Zebra balığı embriyolarına 6 gün boyunca Al₂O₃ NP maruziyetinden sonra yetişkin hale gelen balıklarda hız ortalamasında anlamlı bir yavaşlama olduğu ve bunu destekler şekilde balıkların duraklama sürelerinde artış meydana geldiği gösterilmiştir (Chen *et al.* 2020). Aynı şekilde SiO₂ NP'inde Zebra balığında bilişsel davranış, genel ve lokomotif aktivitesinde anlamlı değişikliklere neden olduğu da bilinmektedir (Li *et*

al. 2014). MgO NP'lerinin lokomotif hareket üzerine etkisini incelediğimiz çalışma kapsamında yapılan negatif jeotaksis deneyi sonucunda literatüre benzer şekilde MgO NP uygulamasının *D. melanogaster*'da bireylerin uçuş kabiliyetlerini azalttığı sonucunda ulaşılmıştır. Ayrıca larval dönemdeki hareketin incelendiği diğer deneyde ise MgO NP uygulamasının larval hareketin anlamlı bir şekilde azalmaya neden olduğu açık bir şekilde gösterilmiştir.

Çoğu canlı, hayatlarını sürdürüebilmek için yaşamları boyunca kendi ağırlıklarını tespit ederek, kas güçlerini bu duruma göre ayarlamak zorundadır (Knight 2017). Sıçanların, kilo almına bağlı olarak, kas kasılmasını ve kuvvet çıkışını düzenleyen troponin kompleksinin bir bileşeni olan troponin T'nin alternatif formlarını üreterek kaslarını değiştirebildikleri bilinmektedir. Ayrıca bu durumun güz tırtıllarında da (*Spodoptera frugiperda*) geçerli olduğu tespit edilmiştir (Schilder *et al.* 2011). Bu sistemin *D. melanogaster*'de de varlığının tespiti için yapılan bir çalışmada sinekler santrifüjle kandırılarak vücut ağırlıklarının artırılması konusunda uyarılmıştır. Bu deney sonucunda santrifüj sonrası sineklerde sıçanlara benzer şekilde Troponin T formlarının transkripsiyonunun arttığını ve bunun sonucunda da sineklerin bacak kaslarının daha güçlü hale gelerek daha iyi tırmanıcı ve zıplayıcılar haline geldikleri görülmüştür (Schilder and Raynor 2017). Yapmış olduğumuz ergin birey ağırlıklarının ölçümü sonucunda istatistiksel değerlendirmede anlamlı olarak bulunmamasına rağmen en yüksek konsantrasyona maruziyetin ardından gelişen sineklerde bir ağırlık artışının meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 6). Diğer bir çalıştığımız test yöntemi olan ve maruziyet sonrası sineklerin hareket kabiliyetlerinin sınıandığı negatif jeotaksis deneyi sonucunda distile suya göre anlamlı bir farklılığın görülmemesi ergin *D. melanogaster* bireylerinde Schilder ve Raynor (2011)'in yapmış oldukları çalışmada ki sonuca benzer şekilde ağırlık artışıyla birlikte kas güçlerini arttırarak hareket kabiliyetlerini arttırdıklarını düşündürmektedir. Fakat bu durumun daha iyi anlaşılabilmesi için moleküler düzeyde incelemeler yapılarak ağırlık artışının kas gücünü arttırmaya yönelik bir protein olan Troponin T

formlarının transkripsiyonunu tetikleyip tetiklemediğinin incelenmesi gerekmektedir.

Scrobicularia plana'nın model organizma olarak kullanıldığı bir çalışmada CuO NP ve çözünür Cu uygulaması sonucunda CuO NP'lerinin beslenme davranışında bozulmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu maruziyet sonucunda çeşitli oksidatif stres belirteçleri olan enzimlerde artış olduğu da belirlenmiştir (Buffet 2011). Walczak vd. (2013) NP'lerin gastrointestinal sistem içerisinde nasıl bir davranış sergilediklerini tespit etmek için gerçekleştirdikleri çalışmada Ag NP'lerin uygulama yaptıkları boyutla aynı boyutta ve aynı bileşimleriyle bağırsak duvarına kadar ulaşabildiklerini gözlemlenmişlerdir. Çalışmamız sonucunda elde etmiş olduğumuz larval ağırlık sonuçlarında istatistiksel olarak anlamsız olmasına rağmen doza bağlı olarak ağırlıkta bir azalma, Walczak vd. (2013) ve Buffet (2011) çalışmalarından elde edilen verilere benzer özelliktedir. Walczak vd. (2013) ve Buffet (2011) tarafından yapılan çalışmalarda MgO NP'lerinin beslenme davranışlarını bozarak veya bağırsakta birikerek larvaların beslenmesine engel olarak larval ağırlıktaki düşüşe neden olduğu yargısına varılmıştır. Manickam vd. (2019) albino fareler (*Mus musculus*) üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada Fe₂O₃ NP maruziyetinden sonra Fe₂O₃ NP'lerinin farelerde nörodavranış bozukluğuna yol açan nöronal iletişim ile ilişkili faktörleri etkilediğini belirtmişlerdir. ZnO NP'lerinin 30, 50 ve 70 ppm'lik konsantrasyonlarda *Oreochromis mossambicus* üzerindeki davranışsal değişiklikleri gözlemlenmek üzere yapılan başka bir araştırmada ise maruziyet sonucunda balıklarda ışık kaynaklarına karşı yanıt oluşmadığı, tanka atılan besin parçacıklarının girişini fark etmediklerini, hareketlerinin azaldığını ve ZnO NP'lerin dozu arttıkça davranışlarında kontrol grubuna göre bozulduğunu tespit edilmiştir (Suganthi *et al.* 2015). Literatürde çeşitli NP'lerin davranış üzerine etkilerinin incelendiği çalışmaların bulunmasına karşın MgO NP'leri ile ilgili çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Kesmati vd. (2016) MgO NP'lerinin morfin yoksunluğunun neden olduğu anksiyete üzerindeki etkilerinin erkek fareler üzerinde araştırıldığı çalışmada akut ve kronik MgO NP enjeksiyonlarının morfin yoksunluğu çeken erkek

farelerde kaygı benzeri davranışları önemli ölçüde azalttığını tespit etmişlerdir.

D. melanogaster için besin ortamı ve ortam sıcaklığının hayatta kalma ve üreme kabiliyeti üzerinde etkileri olduğu bilinmektedir (Min *et al.* 2021). Pompa vd. (2011) sitrat kaplı altın nanopartiküllerinin *D. melanogaster*'da ömür uzunluğu ve çoğalma başarısını azalttığını tespit etmişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışmada da benzer şekilde MgO NP uygulamasının ömür uzunluğu üzerine negatif etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Pupanın yüksekliği yerçekimine bağlı bir tepkidir ve çeşitli diğer basit davranışlarla belirlenen karmaşık bir özellik olarak görülebilir. Ayrıca pupanın konumu, beslenme sonrası gezinme aşamasında larvaların sahip olduğu enerjiyi yansıtır, böylece larvaların yetişkin olmadan önce geçirdikleri aşamada enerji tüketimini azaltabilen sendromları inceleyen çalışmalar için bir temel olarak kullanılabilir (Fauzi *et al.* 2020). Bu nedenle pupa pozisyon ölçümü sonucunda elde ettiğimiz verilere göre MgO NP maruziyetinin *D. melanogaster*'ın enerji metabolizması üzerine negatif bir etkisi olabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak MgO NP'lerinin bu çalışmada model organizma olarak kullanılan *D. melanogaster*'de davranışsal toksisiteye neden olduğu söylenebilmektedir. Bu çalışmadan elde edilen veriler kas gelişimi, sinirsel iletim ve bazı beslenme davranışları moleküler bakımından memeli sistem ile olan benzerlikleri nedeni ile oldukça önemlidir. MgO NP tarafından oluşturulan davranışsal bozuklukların daha iyi anlaşılabilmesi için mekanizmasının moleküler düzeyde de araştırılmaya ihtiyaç vardır.

Teşekkür

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2016-1044 numaralı proje ile desteklenmiştir.

5.Kaynaklar

Alqahtani, S., Alomar, S.Y., 2016. Induction of apoptosis and cytokine markers in colon cancer cells by mahnesium oxide (MgO) nanoparticles. *Toxicological & Environmental Chemistry*, **99**, 302-314.

Asmonaite, G., Boyer, S., de Souza, K.B., Wassmur, B. and Sturve, J., 2016. Behavioural toxicity assessment of silver ions and nanoparticles on zebrafish using a locomotion profiling approach. *Aquatic Toxicology*, **173**, 143-153.

Baker, T.J., Tyler, C.R., Galloway, T.S., 2014. Impacts of metal and metal oxide nanoparticles on marine organisms. *Environmental Pollution*, **186**, 257-271.

Benelmekki, M., 2015. Designing Hybrid Nanoparticles. Morgan & Claypool Publishers, 1-14.

Bernhardt, E.S., Colman, B.P., Hochella, M.F., Cardinale, B.J., Nisbet, R.M., Richardson, C.J., Yin, Liyan., 2010. An Ecological Perspective on Nanomaterial Impacts in the Environment. *Journal of Environmental Quality*, **39**, 1-12.

Bhatt, I., Tripathi, B.N., 2011. Interaction of engineered nanoparticles with various components of the environment and possible strategies for their risk assessment. *Chemosphere*, **82**, 308-317.

Bindhu, M.R., Umadevi, M., Micheal, M.K., Arasu, M.V. and Al-Dhabi, N.A., 2016. Structural, morphological and optical properties of MgO nanoparticles for antibacterial application. *Materials Letters*, **166**, 19-22.

Buffet, P., Tankoua, O.F., Pan, J., Berhanu, D., Herrenknecht, C., Poirier, L., Amiard-Triquet, C., Amiard, J., Berard, J., Risso, C., Guibboline, M., Romeo, M., Reip, P., Valsami-Jones, E. and Mouneyrac, C., 2011. Behavioural and biochemical responses of two morine invertebrates *Scrobicularia plana* and *Hediste diversicolor* to copper oxide nanoparticles. *Chemosphere*, **84**, 166-174.

Cai, L., Chen, J., Liu, Z., Wang, H., Yang, H., Ding, W., 2018. Magnesium Oxide Nanoparticles: Effective Agricultural Antibacterial Agent Against *Ralstonia solanacearum*. *Frontiers in Microbiology*, **9**.

Chen, J., Fan, R., Wang, Y., Huang, T., Shang, N., He, H., Zhang, P., Zhang, L., Niu, Q. and Zhang, Q., 2020. Progressive impairment of learning and memory in adult zebrafish treated by Al₂O₃ nanoparticles when in embryos. *Chemosphere*, **254**, 126608.

- Chen, T.H., Lin, C.C. and Meng, P.J., 2014. Zinc oxide nanoparticles alter hatching and larval activity in zebrafish (*Danio rerio*). *Journal of Hazardous Materials*, **277**, 134-140.
- De Matteis, V., 2017. Exposure to Inorganic Nanoparticles: Routes of Entry, Immune Response, Biodistribution and In Vitro/In Vivo Toxicity Evaluation. *Toxics*, **5**, 29.
- Demir, E., Akça, H., Kaya, B., Burgucu, D., Tokgün, O., Turna, F., Aksakal, S., Vales, G., Creus, A. and Marcos, R., 2014. Zinc oxide nanoparticles: Genotoxicity, interactions with UV-light and cell-transforming potential. *Journal of Hazardous Materials*, **264**, 420-429.
- Demir, E., Akça, H., Turna, F., Aksakal, S., Burgucu, D., Kaya, B., Tokgün, O., Vales, G., Creus, A. and Marcos, R., 2015. Genotoxic and cell-transforming effects of titanium dioxide nanoparticles. *Environmental Research*, **136**, 300-308.
- Dhar, G., Mukherjee, S., Nayak, N., Sahu, S., Bag, J., Rout, R. and Mishra, M., 2020. Fundamental Approaches to Screen Abnormalities in *Drosophila*. Mishra, M. Springer Protocols, 223-251.
- Elsaesser, A. and Howard, C.V., 2012. Toxicology of nanoparticles. *Advanced Drug Delivery Reviews* **64**, 129-137.
- Ertuğrul, H., Yalçın, B., Güneş, M. and Kaya, B., 2020. Ameliorative effects of melatonin against nano and ionic cobalt induced genotoxicity in two *in vivo Drosophila* assays. *Drug and Chemical Toxicology*, **43**, 279-286.
- Fauzi, A., Zubaidah, S. and Susanto, H., 2020. The Study of Larva and Adult Behaviour of *Drosophila melanogaster*: Do Strains Affect Behavior?. *AIP Conference Proceedings*, **2231**, 040014.
- Feynman, R.P., 1960. There's Plenty of Room at the Bottom. *Engineering and Science magazine*, **23**, 22-36.
- Ge, S., Wang, G., Shen, Y., Zhang, Q., Jia, D., Wang, H., Dong, Q. and Yin, T., 2011. Cytotoxic effects of MgO nanoparticles on human umbilical vein endothelial cells *in vitro*. *The Institution of Engineering and Technology*, **5**, 36-40.
- Gerlof, K., Albrecht, C., Boots, A.W., Förster, I. and Schins, R.P.F., 2009. Cytotoxicity and oxidative DNA damage by nanoparticles in human intestinal Caco-2 cells. *Nanotoxicology*, **3**, 355-364.
- Giorgetti, L. 2019. Nanomaterials in Plants, Algae, and Microorganisms Concepts and Controversies: volume 2. Tripathi, D.K., Ahmad, P., Sharma, S., Chauhan, D.K. and Dubey, N.K., Academic Press, 65-88.
- Gunes, M., Yalcin, B., Ertugrul, H. and Kaya, B. 2018. Ascorbic Acid Ameliorates Genotoxic Effects of Cobalt Nanoparticles and Cobalt Chloride *in In Vivo Drosophila* Assays. *Fresenius Environmental Bulletin*, **27**, 2380-2391.
- Horie, M., Nishio, K., Fujita, K., Kato, H., Nakamura, A., Kinugasa, S., Endoh, S., Miyauchi, A., Yamamoto, K., Murayama, H., Niki, E., Iwahashi, H., Yoshida, Y. and Nakanishi, J., 2009. Ultrafine NiO Particles Induce Cytotoxicity *in Vitro* by Cellular Uptake and Subsequent Ni(II) Release. *Chemical Research in Toxicology*, **22**, 1415-1426.
- Horie, M., Shimizu, K. and Tabei, Y., 2018. Validation of metallothionein, interleukin-8, and heme oxygenase-1 as markers for evaluation of cytotoxicity caused by metal oxide nanoparticles. *Toxicology Mechanisms and Methods*, **28**, 630-638.
- Hwang, H.M., Ray, P.C., Yu, H. and He, X., 2012. Sustainable Preparation of Metal Nanoparticles: Methods and Applications. Luque, R. and Varma, R., Cambridge: Royal Society of Chemistry, 190-212.
- Ivask, A., Titma, T., Visnapuu, M., Vija, H., Kaminen, A., Sihtmae, M., Pokhrel, S., Madler, L., Heinlaan, M., Kisand, V., Shimmo, R. and Kahru, A., 2015. Toxicity of 11 Metal Oxide Nanoparticles to Three Mammalian Cell Types *In Vitro*. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, **15**, 1914-1929.
- Jin, T. and He, Y., 2011. Antibacterial activities of magnesium oxide (MgO) nanoparticles against foodborne pathogens. *Journal of Nanoparticle Research*, **13**, 6877-6885.

- Karlsson, H.L., Cronholm, P., Gustafsson, J. and Möller, L., 2008. Copper Oxide Nanoparticles Are Highly Toxic: A Comparison between Metal Oxide Nanoparticles and Carbon Nanotubes. *Chemical Research in Toxicology*, **21**, 1726-1732.
- Kesmati, M., Konani, M., Torabi, M. and Khajehpour, L., 2016. Magnesium oxide nanoparticles reduce anxiety induced by morphine withdrawal in adult male mice. *Physiology and Pharmacology*, **20**, 197-205.
- Khan, I., Saeed, K. and Khan, I., 2019. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, **12**, 908-931.
- Knight, K. 2017. Fruit flies strengthen leg muscles when they gain weight. *Journal of Experimental Biology*, **220**, 3399-3401.
- Krishna, R.N., Gayathri, R. and Priya, V.D., 2017. Nanoparticles and Their Applications - A Review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, **9**(1), 24-27.
- Laurent, S., Forge, D., Port, M., Roch, A., Robic, C., Vander Elst, L. and Muller, R.N., 2008. Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis, Stabilization, Vectorization, Physicochemical Characterizations, and Biological Applications. *Chemical Reviews*, **108**, 2064-2110.
- Li, X., Liu, B., Li, X., Li, Y., Sun, M., Chen, D., Zhao, X. and Feng, X., 2014. SiO₂ nanoparticles change colour preference and cause Parkinson's-like behaviour in zebrafish. *Scientific Reports*, **4**, 3810.
- Linford, N.J., Bilgir, C., Ro, J. and Pletcher, S.D. 2013. Measurement of Lifespan in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Visualized Experiments*, **71**.
- Liu, Z., Shang, J., Yan, L., Wei, T., Xiang, L., Wang, H., Cheng, J. and Xiao, G., 2020. Oxidative stress caused by Lead (Pb) induces iron deficiency in *Drosophila melanogaster*. *Chemosphere*, **243**, 139136.
- Mahmoud, A. Öztaş, E., Arici, M. and Özhan, G., 2016. *In Vitro* Toxicological Assessment of Magnesium Oxide Nanoparticle Exposure in Several Mammalian Cell Types. *International Journal of Toxicology*, **35**, 1-9.
- Mangalampalli, B., Dumala, N. and Grover, P., 2018b. *Allium cepa* root tip assay in assessment of toxicity of magnesium oxide nanoparticles and microparticles. *Journal of Environmental Sciences*, **66**, 125-137.
- Mangalampalli, B., Dumala, N. and Venkata, R.P., 2018a. Genotoxicity, biochemical and biodistribution studies of magnesium oxide nano and microparticles in albino wistar rats after 28-day repeated oral exposure. *Environmental Toxicology*, **33**, 396-410.
- Manickam, V., Dhakshinamoorthy, V. and Perumal, E., 2019. Iron Oxide Nanoparticles Affects Behaviour and Monoamine Levels in Mice. *Neurochemical Research*, **44**, 1533-1548.
- Manjila, S. B. and Hasan, G., 2018. Flight and Climbing Assay for Assessing Motor Functions in *Drosophila*. *Bio-protocol*, **8**, e2742.
- McClements, D.J. and Xiao, H., 2017. Is nano safe in foods? Establishing the factors impacting the gastrointestinal fate and toxicity of organic and inorganic food-grade nanoparticles. *Science of Food*, **1**(6).
- Philbert, M.A., 2010. Comprehensive Toxicology (Second Edition). McQueen, C.A., Elsevier Science, 337-350.
- Min, K.W., Jang, T. and Lee, K.P., 2021. Thermal and nutritional environments during development exert different effects on adult reproductive success in *Drosophila melanogaster*. *Ecology and Evolution*, **11**(1), 443-457.
- Mittag, A., Schneider, T., Westermann, M. and Glej, M., 2019. Toxicological assessment of magnesium oxide nanoparticles in HT29 intestinal cells. *Archives of Toxicology*, **93**, 1491-1500.
- Nabika, H. and Unoura, K., 2016. Surface Chemistry of Nanobiomaterials. Grumezescu, A.M., William Andrew Publishing, 231-263.
- Pompa, P.P., Vecchio, G., Galeone, A., Brunetti, V., Sabella, S., Maiorano, G., Falqui, A., Bertoni, G. and Cingolani, R., 2011. *In Vivo* Toxicity Assessment of Gold Nanoparticles in *Drosophila melanogaster*. *Nano Research*, **4**(4), 405-413.
- Rico, C.M., Majumdar, S., Gardea, M.D., Videa, J.R.P. and Torresdey, J.L.G., 2011. Interaction of nanoparticles

with edible plants and their possible implications in the food chain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **59**(8), 3485-3498.

Schlinder, R.J., Kimball, S.R., Marden, J.H. and Jefferson, L.S., 2011. Body weight-dependent troponin T alternative splicing is evolutionarily conserved from insects to mammals and is partially impaired in skeletal muscle of obese rats. *The journal of Experimental Biology*, **214**, 1529-1532.

Schilder, R.J. and Raynor, M., 2017. Molecular plasticity and functional enhancements of leg muscles in response to hypergravity in the fruit fly *Drosophila melanogaster*. *The Company of Biologists*, **220**, 3508-3518.

Strambeanu, N., Demetrovici, L., Dragos, D., and Lungu, M., 2015. Nanoparticles' Promises and Risks. Lungu, M., Springer International Publishing, 3-8.

Suganthi, P., Murali, M., Bukhari, A.S., Mohamed, H.E.S., Basu, H. and Singhal, R.K., 2015. Behavioural and Histological variations in *Oreochromis mossambicus* after exposure to ZnO Nanoparticles. *International Journal of Applied Research*, **1**(8), 524-531.

Truong, L., Saili, K.S., Miller, J.M., Hutchison, J.E. and Tanguay, R.L., 2012. Persistent Adult Zebrafish Behavioral Deficits Results from Acute Embryonic Exposure to Gold Nanoparticles. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part C: Toxicology & Pharmacology*, **155**(2), 269-274.

USEPA(U.S. Environmental Protection Agency, 2007. Nanotechnology White Paper. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460.

Walczak, A.P., Fokkink, R., Peters, R., Tromp, P., Rivera, Z.E.H., Rietjens, I.M.C.M., Hendriksen, P.J.M. and Bouwmeester, H., 2013. Behaviour of silver nanoparticles and silver ions in an *in vitro* human gastrointestinal digestion model. *Nanotoxicology*, **7**(7), 1198-1210.

Wilhelmi, V., Fischer, U., van Berlo, D., Schulze-Osthoff, K., Schins, R.P.F. and Albrecht, C., 2012. Evaluation of apoptosis induced by nanoparticles and fine particles in RAW 264.7 macrophages: Facts and artefacts. *Toxicology in Vitro*, **26**, 323-334.

Meme Kanseri (MCF-7) Hücrelerinde Krosinin İnflamasyon ve Oksidatif Stres Aracılı Apoptoza Etkileri

Ömer HAZMAN¹

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Biyokimya AD. Afyonkarahisar.

e-posta: omerhazman@hotmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2702-6847>

Geliş Tarihi: 18.11.2021

Kabul Tarihi: 26.12.2021

Öz

Krosin, safran (*Crocus sativus L.*) bitkisinin çiçek kısmındaki stigmalarının kurutulması ile elde edilen karotenoid yapılı bir bileşiktir. Sunulan çalışmada krosinin insan meme adenokarsinomu (MCF-7) hücre hattında sitotoksikite düzeyleri ile oksidatif stress, inflamasyon ve apoptoza etkileri belirlendi. MCF-7 hücrelerinde krosinin sitotoksitesi, MTT (3-4,5-dimetil-tiyazolil-2,5-difeniltetrazolyum bromid) testi ile analiz edildi. Krosinin günlük maruziyette MCF-7 hücrelerindeki LD₅₀ dozu 1611 µg/mL, LD₀ dozu ise 20 µg/mL olarak belirlendi. MCF-7 hücrelerinde krosinin antioksidan ve inflamatuvar sisteme etkisini belirleyebilmek amacıyla dört farklı deneysel grup oluşturuldu. Deneysel gruplarından elde edilen hücre lizatlarında total antioksidan statü (TAS), total oksidan statü (TOS) ve oksidatif stres indeksi (OSI), tümör nekrozis faktör (TNF) α, interferon (IFN) γ, interlökin 1 (IL1) β düzeyleri analiz edildi. Krosinin apoptoza etkilerini belirlemek amacıyla ise RT-PCR yöntemiyle apoptotik/antiapoptotik genlere (p53, Bcl-2, TRAIL1, TRAIL2, Bax) ait mRNA ekspresyon düzeyleri analiz edildi. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, krosinin MCF-7 hücrelerinde LD₀ ve LD₅₀ dozlarında proinflamatuvar stokin düzeylerini etkilemeksizin oksidatif stresi artırarak apoptoza uyardığı tespit edildi. Hücre kültürü çalışmaları ile belirlenen, krosinin MCF-7 hücrelerinde antikanserojen etkinliğinin, deney hayvanlarında oluşturulacak modellemeler ile doğrulanması, krosinin kanser tedavisinde olası yararlarını açıklamak adına yararlı olabilir.

Anahtar kelimeler

Kanser; MCF-7 hücreleri; Krosin; inflamasyon; Oksidatif stres; Apoptoz

Effects of Crocin on Inflammation and Oxidative Stress Mediated Apoptosis in Breast Cancer (MCF-7) Cells

Abstract

Crocin is a carotenoid compound obtained by drying the stigmas of the flower part of the saffron (*Crocus sativus L.*) plant. The present study determined the effects of crocin on cytotoxicity, oxidative stress, inflammation, and apoptosis in human breast adenocarcinoma (MCF-7) cell lines. The cytotoxicity of crocin in MCF-7 cells was analyzed by the MTT (3-4,5-dimethyl-thiazolyl-2,5-diphenyltetrazolium bromide) assay. The LD₅₀ dose of crocin in MCF-7 cells at daily exposure was determined as 1611 µg/mL, and the LD₀ dose was determined as 20 µg/mL. In order to determine the effect of crocin on the antioxidant and inflammatory system in MCF-7 cells, four different experimental groups was formed. Total antioxidant status (TAS), total oxidant status (TOS), oxidative stress index (OSI), tumor necrosis factor (TNF) α, interferon (IFN) γ, interleukin 1 (IL1) β levels in cell lysates obtained from experimental groups were analyzed. In order to determine the effects of crocin on apoptosis, mRNA expression levels of apoptotic/antiapoptotic genes (p53, Bcl-2, TRAIL1, TRAIL2, Bax) were analyzed by the RT-PCR method. When the obtained data were evaluated, it was determined that crocin stimulated apoptosis in MCF-7 cells by increasing oxidative stress without affecting proinflammatory stock levels at LD₀ and LD₅₀ doses. Confirmation of the anticarcinogenic activity of crocin in MCF-7 cells, determined by cell culture studies, with models to be created in experimental animals may be helpful to explain the possible benefits of crocin in cancer treatment.

Keywords

Cancer; MCF-7 cells; Crocin; Inflammation; Oxidative stress; Apoptosis

1. Giriş

Kadınlar arasında yaygın görülmekte olan meme kanseri, 2020 verilerine göre dünyada en sık görülen kanserler arasında birinci sıraya yükselmiştir (Sung *et al.* 2021). Meme kanseri ve diğer kanser türlerinin yaygınlığının her geçen gün artıyor olması, bu konuda tedaviye katkı sunabilecek her türlü araştırmayı daha da önemli kılmaktadır. Bu nedenle tedaviye yönelik araştırmalar bilim dünyasının ilgi odağındadır. Hem meme kanserinde hem de diğer kanser türlerinin tedavisinde kullanılan geleneksel yöntemlerin ağır yan etkileri vardır. Bu nedenle yan etkileri azaltabilecek veya daha az yan etkileri olabilecek alternatif yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu bağlamda antioksidanların anti-kanserojen etkinliklerinin araştırılması da önem arz etmektedir.

Krosin, tarih boyunca birçok toplum tarafından farklı hastalıkların tedavisi amacıyla kullanılagelen safran (*Crocus sativus L.*) bitkisinden elde edilen karotenoid yapıda bir bileşiktir. Bu bileşik safran bitkisinin çiçeklerinde bulunan stigmalarının kurutulması ile elde edilir (Hoshyar and Mollaei 2017). Yapılan araştırmalar krosinin her geçen gün yeni bir farmakolojik etkisinin olabileceğini göstermektedir. Bu etkiler arasında antioksidan (Assimopoulou *et al.* 2005, Adalı vd. 2016) anti-platelet (Liakopoulou-Kyriakides and Skubas 1990), nöroprotektif (Soeda *et al.* 2001), antidiyabetik (Kianbakht and Hajiaghae 2011, Shirali *et al.* 2012; Rajaei *et al.* 2013), anti-hiperlipidemik (Lee *et al.* 2005), antiobezite (Hazman *et al.* 2016), antiapoptotik (Ozkececi *et al.* 2016) ve anti-kanserojenik (Garcia-Olmo *et al.* 1999, Chryssanthi *et al.* 2007) etkinliği gösterilmiştir. Sunulan çalışmada ise krosinin MCF-7 hücre hattında oksidatif stress veya inflamasyon aracılı apoptoza etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Araştırma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada krosinin MCF-7 hücrelerinde sitotoksik dozları belirlenmiştir. Deney gruplarına uygulanacak olan krosin dozları belirlendikten sonra deney grupları oluşturulmuştur. İkinci aşamada her grupta en az 5 flask olacak şekilde hücreler üretilmiş, deney gruplarına, belirlenen krosin dozları uygulanmıştır.

Deney gruplarına yapılan uygulamalardan sonra laboratuvar analizlerinde kullanılmak üzere hücre lizatları elde edilmiştir. Üçüncü aşamada ise elde edilen numuneler kullanılarak MCF-7 hücre hattında krosinin oksidatif stress, inflamasyon ve apoptoza etkilerini belirlemeye yönelik laboratuvar analizleri gerçekleştirilmiştir.

2.1 Çalışmada Kullanılan Hücre Hattı ve Besiyerinin Hazırlanması

Krosininin meme kanserinde inflamasyon, oksidatif stress ve apoptoza etkilerinin belirlenmesi amacıyla MCF-7 hücreleri kullanılmıştır. MCF-7 hücreleri sıvı azot içinde Anadolu Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümünden temin edilmiştir. MCF-7 Hücrelerinin çoğaltılması için kullanılan besiyeri; %10 (v/v) Fetal bovine serum (Copricorn), %1 (v/v) penisilin streptomisin (Sigma), %1 (v/v) sodyum piruvat (Sigma), %1 glutamin (Sigma), % 87 oranında high glukoz DMEM (Sigma) içerecek şekilde hazırlandı. Hücrelere uygulamalar yapıldıktan sonra tüm inkübasyonlar, steril ortamda % 5 CO₂ ve 37 °C olacak bir ortamı sürekli sağlayan ve dengede tutan CO₂ inkübatöründe (Panasonic) gerçekleştirildi.

Krosinin MCF-7 hücrelerindeki sitotoksikite düzeyleri 96 kuyucuklu mikropate kullanılarak MTT yöntemi ile belirlendi. MTT çözeltisi, uygun pH pH=7,4) ortamında PBS (Phosphate buffer saline) içinde 5 mg/mL konsantrasyonda olacak şekilde MTT tuzunun (Sigma) çözülmesiyle hazırlandı.

Krosin (Sigma) sitotoksitesini belirlemek için 0,1-6,4 mg/mL aralığındaki konsantrasyonlarda farklı 7 doz tercih edildi. Kontrol grubu olarak planlanan vellelere ise krosinin çözücüsü olarak kullanılan besiyeri eklendi. Hücrelere krosin uygulandıktan 24 saat sonra her bir kuyucuğa, kuyucuk hacminin %10'u oranındaki hacimde MTT çözeltisi ilave edildi. Hücreler bu şekilde 2-4 saat inkübasyona bırakıldı. İnkübasyon sonunda MTT'nin etkisiyle canlı hücrelerde formozan kristalleri oluştu. Kristalleri etkilemeden vellerdeki sıvı kısım pipetle çekildi. Kuyucuklardaki formozan kristalleri üzerine 200 µL DMSO eklendi. Böylelikle kuyucuklardaki formozan kristallerinin tekrar çözünmesi sağlandı. Örneklerin optik dansiteleri 540 nm'de, ELISA mikropate

okuyucu (Biotek, ELx800) kullanılarak belirlendi. Krosin uygulanmayan deney grubunun (kontrol grubu) hücre canlılığı oranı % 100 kabul edilerek, her bir dozun hücre canlılığına etkisi (%)Hücre Canlılığı = $[(100 * \text{Absorbans}_{\text{numune}}) / (\text{Absorbans}_{\text{kontrol}})]$) hesaplandı. Her bir doza ait hücrelerin canlılık oranları % olarak ifade edildi (Ersin vd. 2016, Ulaşlı vd. 2013).

Uygulamalar sonucunda kontrol grubuna göre hücre canlılığını % 50 azaltan krosin dozu, LD₅₀ dozu şeklinde ifade edildi. MTT uygulamaları sonucunda kontrol grubuna göre hücre canlılığını etkilemeyen krosin dozu ise LD₀ dozu olarak kabul edilerek çalışmalarda kullanıldı. Uygulamada kullanılan MCF-7 hücrelerindeki etkili olan krosine ait lethal dozlar (LD₀, LD₅₀ gibi), her bir dozun hücrelerde oluşturduğu % canlılık oranları kullanılarak belirlendi. Lethal dozların hesaplanmasında Epa Probit Analysis Program (Version 1.5) adlı yazılım kullanıldı. Sunulan çalışmada lethal dozlar belirlendikten sonra deney grupları oluşturularak uygulamalara geçildi. Çalışma kapsamında oluşturulan deney grupları Çizelge 1’de sunulmuştur. Deney gruplarına Çizelge 1’de ifade edilen uygulamaların tatbik edilmesi sonucunda elde edilen hücre lizatları kullanılarak biyokimyasal analizler, hücrelerden izole edilen total RNA’lar yardımıyla sentezi gerçekleştirilen cDNA’lar kullanılarak ise analizi planlanan ilgili genlerin mRNA ekspresyon düzeyleri belirlendi.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan deney grupları

Gruplar	Yapılan Uygulamalar
Grup 1 Kontrol Grubu	Krosin besiyerinde çözüldüğü için, diğer gruplara krosin uygulandığı zamanlarda aynı hacimde besiyeri uygulanan grup
Grup 2 LD ₀ dozu tedavi grubu	MTT analizleri sonucunda belirlenen LD ₀ dozunda (20 µg/mL) krosin uygulanan grup
Grup 3 LD ₅₀ dozu tedavi grubu	MTT analizleri sonucunda belirlenen LD ₅₀ dozunda (1611 µg/mL) krosin uygulanan grup
Grup 4 Yüksek doz tedavi grubu	MTT analizleri sonucunda belirlenen LD ₅₀ dozunun iki katı oranda (3200 µg/mL) krosin uygulanan grup

2.2 Biyokimyasal Analizlerde Kullanılan Hücre Lizatlarının Hazırlanması

Deney gruplarına ait hücrelere Çizelge 1’de ifade edilen uygulamalar tatbik edildikten sonra hücreler 24 saat süre ile inkübe edildi. İnkübasyon sonunda flask tabanında adherent bir şekilde çoğalmış olan hücreleri kaldırmak için tripsinizasyon ve detripsinizasyon işlemleri uygulandı. Hücreler besiyeri ile 2 yıkama sonunda tripsinden arındırıldıktan sonra falkon tüpün tabanında kalan hücre peleti PBS ile yıkandı. Yıkama sonrası hücrelerin üzerine 500 µL lizis tamponu (içerisinde %1 triton-X-100, ve %8 proteaz inhibitör kokteyli içeren PBS çözeltisi) eklendi. Pipetaj yapıldı. Sonrasında buz içinde sonikatör (Binder) kullanılarak ultrasonik ses dalgalarının etkisiyle 20 saniye süreyle hücrelerin iyice parçalanması sağlandı. 20 saniyelik sonikasyon işleminden sonra 40 saniye süreyle beklendi. Sonikasyon işlemine bu şekilde 10 tur devam edildi. Böylelikle numunelerde bulunan hücre ve organellerine ait zarların parçalanarak, hücre içi sıvıların hücre lizatına geçmesi sağlandı. Bu şekilde hazırlanan numuneler 10 dakika süre ile +4 °C’de 8500 rpm’de santrifüj edildi. Santrifüj sonunda elde edilen süpernatantlar biyokimyasal analizlerde hücre lizatı olarak kullanıldı. Analizlerde lizis tamponu blank olarak kullanıldı. Yapılan biyokimyasal analizlerle, numunelerde total protein düzeyleri, oksidatif stres parametreleri ve proinflatuar stokin seviyeleri belirlendi (Hazman vd. 2021).

2.3 Total Protein Analizi

Elde edilen hücre lizatlarının kullanılmasıyla gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçların hesaplanabilmesi amacıyla her bir numunenin total protein seviyesi belirlendi. Numunelerin total protein seviyeleri ticari kit (Fluka) kullanılarak multiplate okuyucu (Biotek ELx-800) yardımıyla 595 nm’de ölçüldü. Bradford (1976) yöntemine göre çalışan kitle birlikte tedarik edilen standart kullanılarak seri dilüsyonlarla hazırlanan 125-4000 µg/mL konsantrasyonu aralığındaki 6 standart hazırlandı. 96’lık mikroplate üzerinde belirlenen kuyucuklara iki tekrarlı olacak şekilde 6 µL hacminde standartlar ve total protein içeriği bilinmeyen

numuneler eklendi. Bunların üzerine fazla zaman geçirmeden kitle birlikte tedarik edilen Coomassie brilliant blue reaktifi multikanal pipetle 300 µL hacminde eklendi. Kuyucuklarda bulunan çözeltilerin absorbansları ve kalibrasyon eğrisi aracılığı ile de total protein seviyeleri belirlendi. Elde edilen total protein düzeyleri hücre lizatlarında analizi gerçekleştirilen oksidatif stres ve inflamasyonla ilişkili parametre düzeylerinin hesaplanmasında kullanıldı.

2.4 Total Antioksidan Statü (TAS) Düzeyleri Analizi

Son yıllarda bir ortamda bulunan farklı antioksidanların toplam etkisinin belirlenebilmesi için özel yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde ortama katılan reaktif bir türün, yine ortamda bulunan antioksidanlar tarafından indirgenme/inaktif etme süreci takip edilerek numunenin antioksidan kapasitesi belirlenmeye çalışılmaktadır. Sunulan çalışmada da bu prensiple çalışan ticari bir kit (Rell Assay, Gaziantep, Türkiye) kullanılarak TAS düzeyleri belirlendi. Öncelikle kitle birlikte temin edilen standartlar yardımıyla 5 farklı konsantrasyonda (0,125-0,25-0,5-1-2 mmol trolox) standart çözeltisi hazırlandı. Sonrasında kalibrasyon eğrisi hazırlanarak numunelerdeki TAS düzeyleri belirlendi. Seviyeleri belirlenen TAS düzeyleri (mmol Trolox Equivalent/L) her bir numunenin kendi total protein seviyesine bölünerek mmol Trolox Equivalent/g-protein şeklinde ifade edildi.

2.5 Total Oksidan Statü (TOS) Düzeyleri Analizi

Numunelerde TOS düzeylerini belirleyebilmek için, oksidatif strese sebep olabilecek türlerin toplam etkisini belirlemek üzere kullanılan ticari bir kit (Rell Assay, Gaziantep, Türkiye) kullanıldı. Kit protokolünde ifade edilen uygulamalar gerçekleştirildikten sonra numunelerin ve kitle birlikte temin edilen standardın absorbans değerleri belirlendi. Bu absorbans değerleri yardımıyla kit protokolünde verilen formül ($TOS = \frac{(\Delta Abs_{numune})}{(\Delta Abs_{standart})} * 20$) aracılığı ile numunelerdeki TOS seviyeleri hesaplandı. Belirlenen TOS sonuçları µM hidrojenperoksit equivalent litre (µM H₂O₂ Equiv./L) olarak bulundu. Hesaplanan sonuçlar numunelerin kendi total protein seviyelerine

bölünerek normalize edildi. TOS düzeyleri µmol H₂O₂ Equiv./g protein şeklinde ifade edildi.

2.6 Oksidatif Stres İndeksi (OSI) Seviyelerinin Belirlenmesi

Bir ortamda bulunan oksidan ve antioksidan türlerin etkileri dikkate alınarak, ortamın oksidatif stres düzeyi (OSI) değerlendirilebilmektedir. Bu amaçla ortamda bulunan oksidan türlerin toplam etkisi (TOS) ve antioksidan türlerin toplam etkisi (TAS) belirlendikten sonra bu veriler birbirlerine oranlanarak sonuca gidilmektedir. Sunulan çalışmada da TOS düzeyleri TAS düzeylerine bölünerek ($OSI = \frac{TOS}{TAS} * 100$) numunelerdeki oksidatif stress düzeyleri hesaplanmıştır (Hazman ve Ovalı 2015, Hazman ve Bozkurt 2015).

2.7 İnflamatuvar Stokin (TNF-α, IL-1β ve IFN-γ) Seviyelerinin Belirlenmesi

Krosinin MCF-7 hücrelerinde antiinflamatuvar etkisinin olup olmadığını belirlemek amacıyla, TNF-α, IL-1β ve IFN-γ seviyeleri hücre lizatlarında multiplate okuyucu cihazı (Biotek, ELx800) yardımıyla 540 nm'de spesifik ticari kitler (Sunred Biotech) aracılığıyla belirlendi. Elde edilen veriler, numunelerin kendilerine ait total protein konsantrasyonlarına bölündü. Böylelikle normalize edilen stokin seviyeleri ng/mg-protein veya pg/mg-protein olarak ifade edildi.

2.8 RNA İzolasyonu, cDNA Sentezi ve mRNA Ekspresyon Düzeylerinin Belirlenmesi

RNA izolasyonu amacıyla her bir deney grubu için 25'lik 5 flaska ekim yapıldı. Çizelge 1'de belirtilen uygulamalardan 24 saat sonra flasklardaki besiyerleri hücrelere zarar verilmeden alındı. Hücreler 37 °C PBS ile yıkandı. Sonrasında her bir flaska RNA izolasyonu için tedarik edilmiş olan ticari kitin (Gen Matrix) içeriğinde bulunan lizis tampon çözeltisinden uygun hacimde eklendi. Steril hücre kazıyıcısı (Thermo, cell scraper) kullanılarak flask tabanındaki hücreler lize edildi ve flaskın bir köşesinde toplanarak homojenizasyon kolonlarına aktarıldı. Total RNA izolasyonu kit protokolüne uygun bir şekilde gerçekleştirildikten sonra elde edilen RNA'ların konsantrasyonu ve kalitesi nanodropta (BioTek, Epoch 2) belirlendi. İzole edilen RNA'ların 260 nm ve

280nm'de elde edilen optik dansiteleri ($OD_{260/280}$) oranı 1.7-2,2 arasında olan RNA'lar çalışmada kullanıldı (Hazman *et al.* 2018).

Elde edilen total RNA'lar kullanılarak komplementari DNA (cDNA) ticari kit (Thermo) yardımıyla sentezlendi. cDNA'ların kalitesi ve çalışıp çalışmadığı, Reverz Transkripsiyon-Polimeraz Zincir Reaksiyonu (RT-PCR) yöntemi ile kontrol gen olarak β -Aktin aracılığıyla ve melting-curve protokolü uygulanarak belirlendi. Sonrasında RT-PCR yardımıyla p53, Bcl-2, TRAIL1, TRAIL2, Bax genlerine ait mRNA ekspresyon düzeyleri analiz edildi. RT-PCR analizlerinde kullanılan ve analizi gerçekleştirilen genlere spesifik olan primerler (Çizelge 2) literatürdeki çalışmalar taranarak belirlendi (Ersin vd.. 2016, Ulaşlı vd. 2013).

Çizelge 2. Oligonükleotid primer dizileri ve RT-PCR programları

Gen	Primer Dizisi
β -Aktin	F5'CATCGTCACCAACTGGGACGAC'3 R5'CGTGGCCATCTCTTGCTCGAAG'3
p53	F-5'CGGAGGTCGTGAGACGCTG'3 R5'CACATGTACTTGTAGTGGATGGTGG'3
Bax	F5'CGCCTCACTCACCATCTGGAA'3 R5'CCTCAAGACCACTCTTCCCA'3
TRAIL1	F5'GAGAAGTCCCTGCACCACGAC'3 R5'CCGAAAGTTCCTGGTTGCAC'3
TRAIL2	F5'TCCTTACCTGAAAGGCATCTGC'3 R-5'GTCGTTGTGAGCTTCTGTCCA'3
Bcl-2	F-5'CAGCTGCACCTGACGCCCTT'3 R5'CCCAGCCTCCGTTATTCTGGA'3

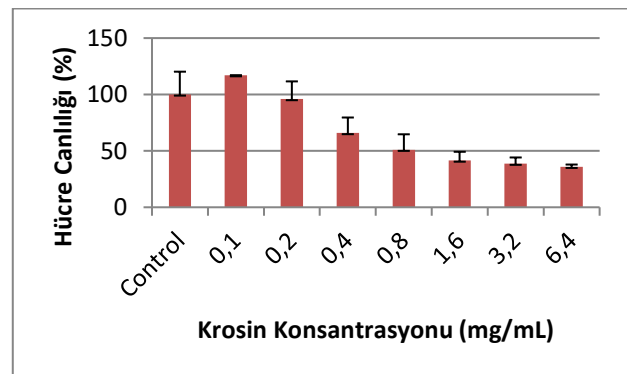
Çizelge 2'de sunulan primerlerden, her bir numuneden elde edilmiş olan cDNA için RT-PCR reaksiyonunda 100 ng düzeyinde kullanıldı. RT-PCR cihazında (Biorad CFX-96) gerçekleştirilen analizlerde her bir numunenin amplifikasyon eğrilerine ait döngü eşiği (Ct) değerlerinden hareketle, hedef genlerin mRNA ekspresyon düzeylerinin nisbi değişimleri, $2^{-\Delta\Delta Ct}$ metodu ile hesaplandı (Pfaffl 2001). Hesaplamalar REST 2009 yazılımı (Qiagen, Germany) kullanılarak yapıldı. mRNA ekspresyon düzeyleri misli olarak azalma ya da artış şeklinde belirlendi. Endojen kontrol olarak beta aktin geni kullanıldı. Her bir örneğe ait beta aktin gen düzeyine göre diğer genlerin ekspresyon düzeylerinde düzeltme (normalizasyon) uygulandı.

2.9 İstatistik Analizler

Laboratuvar analizleri sonucunda derlenen ham veriler ortalama \pm standart sapma olacak şekilde tanımlandı. Yapılan istatistiki değerlendirmelerde SPSS 18 yazılımı tercih edildi. İstatistiki değerlendirmeye, her bir parametreye ait verilerin normal dağılım durumunun belirlenmesiyle başlandı. Normal dağılım gösteren parametrelerde istatistiki fark olup olmadığı ANOVA testi ile belirlendi. Gruplar arası farklılıkların değerlendirilmesinde ise post-test olarak Duncan testi tercih edildi. Normal dağılım göstermeyen parametrelerde gruplar arasında istatistiki fark olup olmadığı Kruskal-Wallis testi ile tespit edildi. Hangi gruplar arasında fark olduğu ise Man Whirney U testi ile belirlendi. Çalışmada kullanılan ilgili genlere ait gen ekspresyonu seviyeleri arasındaki istatistiki farklılıklar ise REST2007 (Qiagen, Germany) yazılımı kullanılarak belirlendi. İstatistiki düzeyde farklılık gösteren genlere ait ekspresyon düzeyleri grafiklerde (*) işareti ile gösterildi.

3. Bulgular

MCF-7 hücrelerinde krosinin sitotoksitesini belirleyebilmek için 0.1- 6.4 mg/mL aralığındaki 7 farklı dozu kullanıldı. Krosinin 0.2 mg/mL ve daha yüksek dozlarda sitotoksitesinin arttığı görüldü. 1.6-6.4 mg/mL aralığındaki dozların ise yüksek sitotoksitesine sahip olabileceği belirlendi. MTT analizi verilerinden yola çıkılarak hazırlanan Şekil 1'de krosinin doza bağımlı bir şekilde hücre canlılığını azalttığı gösterilmiştir.



Şekil 1. MCF-7 hücrelerinde krosinin sitotoksitesini

Elde edilen veriler bir istatistik programı (Epa Probit Analysis Program, Version 1.5) ile değerlendirilerek, krosinin MCF-7 hücrelerindeki günlük maruziyette akut ortalama toksik (LD₅₀) dozu 1611.11 µg/mL, LD₀ dozu ise 20.17 µg/mL olarak belirlenmiştir (Çizelge 3). Sunulan çalışmada belirlenen lethal dozlar arasında yalnızca 2'si (LD₀ ve LD₅₀ dozları) kullanılmıştır. Bu dozların dışında yüksek doz krosin tedavi grubu olan 4. grupta yüksek doz olarak, krosinin LD₅₀ dozunun yaklaşık iki katı olan 3200 µg/mL krosin dozu kullanılmıştır.

Çizelge 3. Krosinin MCF-7 hücrelerinde etkili olan lethal dozları

Krosine ait lethal dozlar ve konsantrasyonları (µg/mL)	95% Confidence Limits (µg/mL)	
	Lower	Upper
LD ₀	0.094	94.78
LD ₅	1.78	226.09
LD ₁₀	8.35	368.34
LD ₁₅	23,19	523.16
LD ₅₀	760.313	5279.85

3.1 Krosinin Oksidatif Stres ve İnflamasyona Etkileri

MCF-7 hücrelerinde krosinin 3 farklı dozu kullanılarak (LD₀, LD₅₀ ve 2xLD₅₀ dozları), hem krosinin düşük dozlardaki etkinliği hem de yüksek dozlarda oksidatif stress ve inflamasyona etkileri tespit edilmeye çalışıldı.

Yapılan analizler sonucunda deney grupları arasında en yüksek TAS seviyeleri (0.781 mmol torolox equiv/g-protein) kontrol grubunda ölçüldü. Deney gruplarına LD₀ dozunda ve LD₅₀ dozunda (1.6 mg/mL) krosin uygulandığında TAS seviyelerinde düşüş olduğu ve bu düşüşün istatistiki düzeyde önemli bir fark oluşturduğu belirlendi (Çizelge 4). TOS verileri incelendiğinde ise kontrol grubu ile diğer deney grupları arasında herhangi bir istatistik farklılık belirlenemedi. Oksidatif stress değerlendirilmesinde iyi bir yol gösterici veri olan OSI değerleri incelendiğinde ise oksidatif stres indeksi en düşük çıkan grup kontrol grubu, oksidatif stres indeksi en yüksek çıkan grup ise en yüksek krosin dozunun uygulandığı 4. grup olarak belirlendi.

Çizelge 4. Krosinin MCF-7 hücrelerinde oksidatif strese etkisi

Deney Grupları	TAS (mmol torolox equiv/g-protein)	TOS (µmol H2O2 equiv./g-protein)	OSI (Arbitrary Unit)
Grup 1 Kontrol grubu	0.78±0.08 ^c	10.2±0,9	1311.4±26.6 ^a
Grup 2 LD ₀ dozu tedavi grubu	0.58±0.04 ^{a, b}	9.8±0.6	1396.9±304.5 ^b
Grup 3 LD ₅₀ dozu tedavi grubu	0.70±0.10 ^a	9.1±1.4	1596.3±210.5 ^b
Grup 4 Yüksek doz tedavi grubu	0.61±0.09 ^{b, c}	9.7±0.7	1612.1±78.7 ^{a, b}
P değeri	0.001*	0.158**	0.022*

Veriler; ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir.

^{a, b, c} ; Aynı sütünde verilen bir parametreye ait istatistiki farklılıklar (p<0.05) üst simge halinde harfle ile ifade edilmiştir. Aynı harflerden bir veya bir kaçını taşıyan gruplar arasında fark yoktur. Taşdığı harf farklı olan gruplar arasında ise istatistiki fark vardır. P değerinde * işareti bulunan ve normal dağılım gösteren verilere parametrik testler uygulandı (ANOVA&Duncan). P değerinde ** işareti bulunan ve normal dağılım göstermeyen verilere ise nonparametrik testler uygulandı (Kruskal wallis & Man whitney U). Kısaltmalar; TAS:Total antioxidant status, TOS:Total oxidant status, OSI: Oxidative stres index.

Gruplar arasında istatistiki farklılıklar incelendiğinde ise LD₀ dozu uygulanan grup 2 ile LD₅₀ dozu uygulanan grup 3 OSI değerlerinin kontrol grubundan yüksek ve istatistiki olarak farklı olduğu belirlendi (Çizelge 4). Veriler incelendiği zaman en yüksek OSI değerine sahip olan 4. grubun kontrol grubundan istatistiki olarak farklılık göstermez iken, daha düşük OSI değerine sahip olan diğer grupların (grup 2 ve 3) kontrol grubundan istatistiki olarak farklılık gösterdiği belirlendi.

Bu verilerin bir çelişki oluşturduğu düşünülebilir. Çizelge 4 daha dikkatli incelenirse, özellikle de verilere ait standart sapmalar irdelenirse bu oluşan tezadı açıklamak daha kolay olacaktır. Çünkü kontrol grubuna göre istatistiki fark gösteren ama ortalama değeri çok yüksek olmayan 2. ve 3. grup verilerinin standart sapmaları çok yüksektir. Standart sapmalar dikkate alınarak hesaplar gözden geçirilecek olursa, aslında bu gruptaki numunelerden bazılarının en yüksek OSI değerlerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle grup 2 ve 3'te ortalama OSI değerleri 4. gruba göre yüksek çıkmaya da, kontrol grubuna göre istatistiki fark oluştuğu gözlenmiştir. Krosinin MCF-7 hücrelerinde inflamasyona etkileri incelendiğinde ise

deney grupları arasında herhangi bir istatistiki farklılık oluşmadığı belirlenmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. MCF-7 hücrelerine krosinin inflamasyona etkileri

Deney Grupları	IL-1 β (pg/mg-protein)	IFN- γ (pg/mg-protein)	TNF- α (ng/mg-protein)
Grup 1 Kontrol Grubu	97,62 \pm 8,89	77,05 \pm 6,90	7,94 \pm 0,81
Grup 2 LD ₀ dozu tedavi grubu	87,57 \pm 12,38	75,45 \pm 14,61	8,82 \pm 2,48
Grup 3 LD ₅₀ dozu tedavi grubu	93,45 \pm 9,18	66,20 \pm 9,31	7,04 \pm 0,86
Grup 4 Yüksek doz tedavi grubu	87,40 \pm 4,49	71,36 \pm 9,55	7,62 \pm 0,07
P değeri	0,069 **	0,150 **	0,208 *

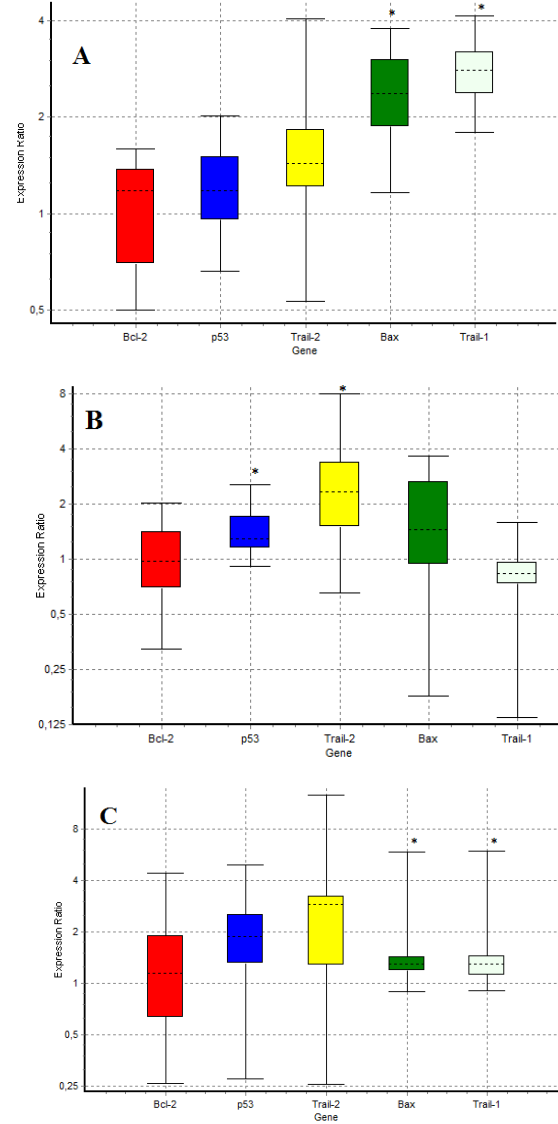
Veriler; ortalama \pm standart sapma şeklinde verilmiştir. Analizi yapılan parametrelerde gruplar arasında herhangi bir istatistiki fark varlığı belirlenmemiştir. P değerinde * işareti bulunan ve normal dağılım gösteren verilere parametrik testler uygulandı (ANOVA&Duncan). P değerinde ** işareti bulunan ve normal dağılım göstermeyen verilere ise nonparametrik testler uygulandı (Kruskal wallis & Man whitney U). Kısaltmalar; TNF- α : tumor necrosis factor α and IFN- γ :interferon γ , IL-1 β :interleukin 1 β .

3.2 Krosinin Apoptoz ve Proliferasyona Etkileri

Krosinin MCF-7 hücrelerinde apoptoz (p53, bax, TRAIL1 ve TRAIL 2) ve proliferasyona (Bcl-2) etkisi, analizi gerçekleştirilen genlere ait her bir grubun mRNA ekspresyon düzeylerinin kontrol grubu ile kıyaslanması sonucu belirlendi. MCF-7 hücrelerine LD₀ dozunda ve LD₅₀ dozundan daha yüksek dozda krosin uygulanması durumunda TRAIL1 ve proapoptotik bax gen ekspresyonlarının kontrol grubuna göre istatistiki olarak anlamlı düzeyde uyarıldığı (Şekil.2A ve Şekil.2C) görüldü. MCF-7 hücrelerine LD₅₀ dozunda krosin uygulandığında ise p53 ve TRAIL 2 genlerine ait ekspresyon seviyelerinin kontrol grubuna göre istatistiki düzeyde farklılık gösterdiği belirlendi (Şekil 2).

4. Tartışma ve Sonuç

Kanser etiolojisinde oluşan hücrel hasarın önemli sebepleri arasında oksidatif stres ve inflamasyon aracılığıyla şekillenen apoptoz da sayılmaktadır. Kanser gelişimi sırasında, özellikle de ileri evrelerde organizmada immun sistemin zayıflaması ile oksidatif stres ve inflamasyonda artış gözlenir. Bu



Şekil 2. Krosinin MCF-7 hücrelerinde apoptoz ve proliferasyona etkisi

Veriler; ortalama \pm standart hata şeklinde verilmiştir (n = 5). Krosinin MCF-7 hücrelerinde apoptoz ve proliferasyona etkisi, analizi gerçekleştirilen genlere ait her bir grubun mRNA ekspresyon düzeylerinin kontrol grubu ile kıyaslanması sonucu belirlendi. A; kontrol grubu ile LD₀ dozu uygulanan 2. grubun kıyaslamasını, B; kontrol grubu ile LD₅₀ dozu uygulanan 3. grubun kıyaslamasını, C; kontrol grubu ile LD₅₀ dozunun iki katı doz uygulanan 4. grubun kıyaslamasını göstermektedir.(*): Kontrol grubuna göre istatistiki olarak farklılık gösteren parametreleri göstermektedir (p<0.05)

açından değerlendirildiğinde vücudun direncinin artırılması için antioksidan takviye önemli olabilir. Ama takviyenin kanser hücrelerinin üremesine de katkı yapabileceği düşünülürse, çok dikkatli ve bilinçli bir şekilde yapılması önem arz etmektedir. Bu nedenle antioksidan maddelerin kanser hücrelerinde etkilerinin incelenmesi ve bilim dünyasıyla paylaşılması kanser tedavisinde yeni yaklaşımlar geliştirilmesine katkı sunabilir.

Krosin ve diğer antioksidanlar düşük dozlarda koruyucu etkiler gösterirken, yüksek dozlarda toksisite gösterebilir. Antioksidanların yüksek dozlarda toksisite oluşturması antioksidatif stres olarak da ifade edilebilir. Antioksidanların yoğun kullanımı ile oluşan bu toksisitenin nedenlerinden biri, hücre membranı ve ara bölüklerinde bulunan doymamış bağlar ve/veya aktif gruplar bulunduran biyomoleküller ile biyoaktif metabolitler olan antioksidanların etkileşime girmesi olabilir. Böylelikle antioksidanlar hücrel molekülere/yapılara zarar vererek antioksidatif stres oluşturuyor olabilir. Nitekim kanser hücrelerinde birçok antioksidan etkili aktif maddenin düşük dozlarda proliferasyonu artırırken, yüksek dozlarda antikanserojen etkili olabileceğini göstermektedir (Lu *et al.* 2015, Fanayi *et al.* 2016). Krosinin antikanserojenik etkilerinin oluşmasında rol oynayan apoptozun uyarılmasında oksidatif stres ve/veya inflamasyon da etkili olabilir. Bu bağlamda sunulan çalışma ile krosinin MCF-7 hücrelerinde sitotoksitesinin belirlenmesini yanında aynı zamanda farklı dozlardaki krosinin MCF-7 hücrelerinde oksidatif stres ve inflamasyon aracılı apoptoza etkilerinin nasıl olduğu aydınlatılmaya çalışılmıştır.

MCF-7 hücreleriyle yapılan çalışmalarda krosinin LD₅₀ dozuyla ilgili farklı bilgiler mevcuttur. Lu vd. (2015)'nin yaptığı bir çalışmada MCF-7 hücreleri ile krosinin farklı dozlarının 24 ve 48 saat inkübe edilmesi sonucunda LD₅₀ dozları belirlenmiştir. 24 saatlik inkübasyonda krosinin LD₅₀ dozu 60 µg/mL, 48 saat sonunda ise 12.5 µg/mL bulunduğu ifade edilmektedir. Literatürde Lu vd. (2015)'nin bulunduğu krosin LD₅₀ dozu (60 µg/mL) ile sunulan çalışmada bulunan LD₅₀ dozu (1611 µg/mL) arasında büyük farklılıklar vardır. Bunun sebebi çalışmalarda kullanılan krosinin saflık oranlarının farklı olması ve uygulama şekilleri ile ilgili olabilir. Nitekim yapılan başka bir çalışmada ise MCF-7 hücrelerinde krosinin LD₅₀ dozunun 3.5 mg/mL olduğu belirtilmektedir (Fanayi *et al.* 2016). Sunulan çalışmada ise yapılan MTT analizleri sonucunda MCF-7 hücrelerinde krosinin LD₅₀ dozu 1611 µg/mL (1.611 mg/mL) bulunmuştur. Elde edilen bulgular daha önce

literatürde belirlenen doz aralığında olduğu için ideal kabul edilebilir.

Krosin gibi antioksidan maddeler yüksek dozlarda antikanserojen etkinlik gösterirken, düşük dozlarda hem vücut hücrelerinin hem de kanser hücrelerinin proliferasyonunu artırabilir. Bu durum ise kanser hücrelerinin üreme yeteneğinin normal hücelere göre daha ileri olduğu göz önüne alınırsa kanserin daha da ilerlemesine yol açabilir. Bununla beraber sunulan çalışmada, düşük doz krosin uygulamalarının proliferasyonu etkilemeden apoptozu uyardığı belirlendi. LD₀ dozu (yaklaşık 20 µg/mL) krosin uygulanan grupta TAS düzeylerinin kontrol grubuna göre azalarak oksidatif stresi artırdığı (Çizelge 4) ve büyük olasılıkla bu nedenle apoptozu uyardığı söylenebilir. Nitekim LD₀ dozu uygulanan grupta oksidatif stresle beraber apoptotik genler olan bax ve TRAIL1 mRNA ekspresyon seviyelerinin uyarıldığı (Şekil 2A) gösterilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda bu bulgumuzu destekler niteliktedir. Bakshi vd. (2016)'a göre 20 µg/mL dozunda krosin uygulanan MCF-7 hücrelerinde bax, caspase 3 gibi apoptotic genleri uyarılabileceği rapor edilmektedir. Bu veriler düşük dozlarda bile meme kanserli hastalarda krosinin ve krosin içerikli ürünlerin risk oluşturmayacağını göstermektedir. Bununla birlikte düşük dozlardaki krosinin sağlıklı hücreler üzerindeki etkisinin ayrıca değerlendirilmesi / araştırılması yararlı olacaktır.

Sunulan çalışmada LD₅₀ dozu uygulanan grupta da TAS düzeylerinin düşmesine bağlı bir şekilde oksidatif stresin ve buna bağlı olarak apoptotik genler olan p53 ve TRAIL2 mRNA ekspresyon düzeylerinin uyarıldığı (Şekil 2B) belirlendi. Nitekim yapılan çalışmalar p53 uyarılmasında da etkin rol oynayabilen sitozolik ve mitokondriyal kaynaklı reaktif oksijen türlerinin apoptozun uyarılmasında etkili olabileceği ifade edilmektedir (Lu *et al.* 2015, Nasimian *et al.* 2020). Bununla birlikte daha yüksek krosin dozu uygulanan deney grubunda (grup 4) oksidatif stress ve inflamasyonla ilgili kontrol grubuna göre bir farklılık görünmesede apoptozun bax ve TRAIL1 aracılığı ile uyarıldığı görüldü. Bu durum yüksek doz krosin uygulamalarında MCF-7 hücrelerinde apoptozun oksidatif stress ve

inflamasyon dışında başka bir hücrel etki sonucu şekillenmiş olabileceğini akla getirmektedir. Örneğin apoptozun şekillenmesinde hatalı protein katlanmalarına cevap olarak gelişebilen endoplazmik retikulum (ER) stresi rol oynamış olabilir. Ama bunun daha net olarak ifade edilebilmesi için daha ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

Çeşitli hücre hatlarıyla yapılan çalışmalarla krosinin proliferasyonu baskılayarak (Bakshi *et al.* 2016, Chryssanthi *et al.* 2007, Hire *et al.* 2017) antikanserojen etkileri olabileceği de ifade edilmektedir. Fakat sunulan çalışmada ne düşük dozlarda ne de yüksek dozlarda krosinin proliferatif bir gen olan Bcl-2 mRNA ekspresyon düzeylerini etkilemediği belirlenmiştir. Bu tezatın nedeni çalışmalarda kullanılan farklı krosin dozu (Bakshi *et al.* 2016) veya proliferasyon düzeylerinin gösterilmesinde kullanılan parametrelerin farklı olmasıyla (Chryssanthi *et al.* 2007) açıklanabilir.

Elde edilen tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde krosinin MCF-7 hücrelerinde LD₀ ve LD₅₀ dozlarında proinflamatuvar stokin düzeylerini etkilemeksizin oksidatif stresi artırarak apoptozu uyardığı ve böylelikle sitotoksositeye sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hem MCF-7 hücrelerinde hem de diğer hücre hatlarında krosinin antikanser etkinliğinin daha iyi anlaşılabilmesi için metabolizmayı etkileyen önemli sinyal yollarına ve apoptozise etkilerinin daha ayrıntılı bir şekilde araştırılması gerekmektedir. Ayrıca hücre kültüründen elde edilen bulguların, deney hayvanlarında oluşturulacak modellemeler ile doğrulanması krosinin kanser tedavisinde olası yararlarını açıklamak adına faydalı olabilir.

Teşekkür

Sunulan bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından (Proje no: 16.KARİYER.160) desteklenmiştir. Ayrıca sunulan çalışmadaki bulguların bir kısmı 23-25 Ağustos 2017 tarihlerinde Roma-İtalya'da düzenlenen "IV. International Multidisciplinary Congress of Eurasia (IMCOFE)" kongresinde sözlü bildiri şeklinde sunulmuş ve özet bildiri şeklinde kongre kitabında yayınlanmıştır.

5. Kaynaklar

- Adali, F., Gonul, Y., Aldemir, M., Hazman, O., Ahsen, A., Bozkurt, M.F., Sen, O.G., Keles, I., Keles, H., 2016. Investigation of the Effect of Krosin Pre-Treatment on Renal Injury Induced by Infrarenal Aortic Occlusion. *Journal of Surgical Research*, **203**,145-53.
- Assimopoulou, A.N., Sinakos, Z., Papageorgiou, V.P., 2005. Radical scavenging activity of *Crocus sativus* L. extract and its bioactive constituents. *Phytotherapy Research*, **19**, 997 – 1000.
- Bakshi, H.A., Hakkim, F.L., Sam, S., 2016. Molecular Mechanism of Crocin Induced Caspase Mediated MCF-7 Cell Death: In Vivo Toxicity Profiling and Ex Vivo Macrophage Activation. *Pacific Organization for Cancer Prevention*,**17**,1499-506.
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, **7**, 248-54.
- Chryssanthi, D. G., Fotini N. L., Gregoris, I., Adamantia, P., Nikos, K. K., Paul, C., 2007. Inhibition of breast cancer cell proliferation by style constituents of different *Crocus* species. *Anticancer Research*, **27**, 357–362.
- Ersin, G., Çelik, S., Ulasli, S.S., Özyürek, A., Hazman, Ö., Günay, S., Özdemir, M., Ünlü, M., 2016. Comparison of the Anti-inflammatory Effects of Proanthocyanidin, Quercetin, and Damnacanthal on Benzo(a)pyrene Exposed A549 Alveolar Cell Line, *Inflammation*, **39**, 744–751.
- Escribano, J., Alonso, G.L., Coca-Prados, M., Fernandez, J.A., 1996. Krosin, safranal and picrokrosin from saffron (*Crocus sativus* L.) inhibit the growth of human cancer cells in vitro. *Cancer Letters*, **100**, 23–30.
- Fanayi, A.R., Changizi, V., Safa, M., 2016. Effect of krosin and doxorubicin/radiation on the breast cancer cell line, Michigan Cancer Foundation, *Bioscience biotechnology research communications*, **9**, 428–434.
- Garcia-Olmo, D.C., Riese, H.H., Escribano, J., Ontanon, J., Fernandez, J.A., Atienzar, M., Garcia-Olmo, D., 1999. Effects of longterm treatment of colon adenocarcinoma with crocin, a carotenoid from saffron (*Crocus sativus* L.): an experimental study in the rat. *Nutrition and Cancer*, **35**, 120–126.

- Hazman, Ö., Aksoy, L., Büyükben, A., 2016. Effects of crocin on experimental obesity and type-2 diabetes. *Turkish Journal of Medical Sciences*, **46**, 1593-1602.
- Hazman, Ö., Bozkurt, M.F., Fidan, A.F., Uysal, F.E., Çelik, S., 2018. The Effect of Boric Acid and Borax on Oxidative Stress, Inflammation, ER Stress and Apoptosis in Cisplatin Toxication and Nephrotoxicity Developing as a Result of Toxication. *Inflammation*, **41**, 1032-1048.
- Hazman, Ö., Bozkurt, M.F., 2015. Anti-inflammatory and Antioxidative Activities of Safranal in the reduction of Renal Dysfunction and Damage that Occur in Diabetic Nephropathy. *Inflammation*, **38**, 1537-45.
- Hazman, Ö., Ovalı, S., 2015. Investigation of the Anti-Inflammatory Effects of Safranal on High-Fat Diet and Multiple Low-Dose Streptozotocin Induced Type 2 Diabetes Rat Model, *Inflammation*, **38**, 1012-9.
- Hazman, Ö., Sarıova, A., Bozkurt, M.F., Çiğerci, İ.H., 2021. The anticarcinogen activity of β -arbutin on MCF-7 cells: Stimulation of apoptosis through estrogen receptor- α signal pathway, inflammation and genotoxicity. *Molecular and Cellular Biochemistry*, **476**, 349-360.
- Hire, R.R., Srivastava, S., Davis, M.B., Kumar Konreddy, A., Panda, D., 2017. Antiproliferative Activity of Crocin Involves Targeting of Microtubules in Breast Cancer Cells. *Scientific Reports*, **24**, 44984.
- Hoshyar, R., Mollaei, H., 2017. A comprehensive review on anticancer mechanisms of the main carotenoid of saffron, crocin. *The Journal of Pharmacy and Pharmacology*, **69**, 1419-1427.
- Kianbakht, S., Hajiaghaee, R., 2011. Anti-hyperglycemic Effects of Saffron and its Active Constituents, Crocin and Safranal, in Alloxan-Induced Diabetic Rats, *Journal of Medicinal Plants*, **39**, 82-89.
- Lee, I.A., Lee, J.H., Baek, N.I., Kim, D.H., 2005. Antihyperlipidemic effect of crocin isolated from the fructus of *Gardenia jasminoides* and its metabolite crocetin. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, **28**, 2106-2110.
- Liakopoulou-Kyriakides, M., Skubas, A., 1990. Characterization of the platelet aggregation inducer and inhibitor isolated from *Crocus sativus*, *Biochemistry international*, **22**, 103-10.
- Lu, P., Lin, H., Gu, Y., Li, L., Guo, H., Wang, F., Qiu, X., 2015. Antitumor effects of crocin on human breast cancer cells. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, **8**, 20316-22.
- Nasimian, A., Farzaneh, P., Tamanoi, F., Bathaie, S.Z., 2020. Cytosolic and mitochondrial ROS production resulted in apoptosis induction in breast cancer cells treated with Crocin: The role of FOXO3a, PTEN and AKT signaling. *Biochemical pharmacology*, **177**, 113999.
- Ozkececi, Z.T., Gonul Y., Yuksel Y., Karavelioglu A., Tunay K., Gulsari Y., Cartilli O., Hazman O., Bal A. 2016. Investigation of the effect of safranal and crocin pretreatment on hepatic injury induced by infrarenal aortic occlusion. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, **83**, 160-166.
- Pfaffl, M.W., 2001. A new mathematical model for relative quantification in real-time RT-PCR. *Nucleic acids research*, **29**, e45.
- Rajaei, Z., Hadjzadeh, M.A., Nemati, H., Hosseini, M., Ahmadi, M., Shafiee, S., 2013. Antihyperglycemic and antioxidant activity of crocin in streptozotocin-induced diabetic rats. *Journal of Medicinal Food*, **16**, 206-10.
- Shirali, S., Bathaine, S., Nakhjavani, M., 2013. Effect of crocin on the insulin Resistance and lipid profile of streptozotocin-induced diabetic rats. *Phytotherapy Research*, **27**, 1042- 1047.
- Soeda, S., Ochiai, T., Paopong, L., Tanaka, H., Shoyama, Y., Shimeno, H., 2001. Crocin suppresses tumor necrosis factor-alpha-induced cell death of neuronally differentiated PC-12 cells. *Life Sciences*, **69**, 2887-98.
- Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R.L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., Bray, F., 2021. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **71**, 209-249.
- Ulasli, S.S., Celik, S., Gunay, E., Ozdemir, M., Hazman, O., Ozyurek, A., Koyuncu, T., Unlu, M., 2013. Anticancer effects of thymoquinone, caffeic acid phenethyl ester

and resveratrol on A549 non-small cell lung cancer cells exposed to benzo(a)pyrene. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, **14**, 6159-64.

Araştırma Makalesi / Research Article

Electrochemical, Optical and Morphological Characterizations of Cu Doped ZnO Nanostructure Thin Films Prepared by Spin Coating Method

Özlem YAĞCI

Yıldız Technical University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, Istanbul.

e-posta: ozlmygc@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7394-7479>

Geliş Tarihi: 03.03.2021

Kabul Tarihi: 16.12.2021

Abstract

From nanotechnology point of view where conductivity is crucial, although it is essential to determine the electrochemical properties Cu doped ZnO nanostructure thin films produced by spin coating, there are rare studies in the literature. Therefore, in this study, the aim was to examine thoroughly the electrochemical properties of nanostructure thin films which were grown on glass substrates by using a facile and cost-effective spin coating method. The effects of the dopant on the morphological, optical and electrochemical properties of ZnO nanostructure thin films doped with Cu at different concentrations (0-50%) were investigated by SEM, XRF, FTIR, UV-vis, mechanical profilometer, and cyclic voltametry. The absorption spectra of the samples revealed that the energy band gap value decreased by the increasing of Cu doping concentration. SEM images depicted that more spherical and homogeneous nanostructures formed with the doping of Cu. Electrochemical results showed that increasing the Cu doping ratio in ZnO nanoparticles results in higher electron transfer indicating that the conductivity of ZnO nanostructured thin films increases with Cu doping. It can be concluded that it is possible to produce more homogeneous, wider spectrum absorption capable and more conductive nanostructure thin films by a simple and inexpensive method. It is envisaged that the thin films obtained are promising for a wide range of nanotechnology applications.

Keywords

Copper; Zinc Oxide;
Cyclic Voltametry;
Electrochemical; Thin
Film; Spin Coating

Spin Kaplama Yöntemi ile Hazırlanan Cu Katkılı ZnO Nanoyapılı İnce Filmlerin Elektrokimyasal, Optik ve Morfolojik Karakterizasyonları**Öz**

İletkenliğin hayati olduğu nanoteknoloji açısından bakıldığında, spin kaplama ile üretilen Cu katkılı ZnO nanoyapılı ince filmlerin elektrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi çok gerekli olsa da literatürde sınırlı çalışmalar bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, kolay ve uygun maliyetli spin kaplama yöntemi kullanılarak cam altlıklar üzerine büyütülen nanoyapılı ince filmlerin elektrokimyasal özelliklerinin derinlemesine incelenmesi amaçlanmıştır. Katkının, farklı konsantrasyonlarda (%0-50) Cu katkılı ZnO nanoyapılı ince filmlerin morfolojik, optik ve elektrokimyasal özellikleri üzerindeki etkileri SEM, XRF, FTIR, UV-vis, mekanik profilometre ve döngüsel voltametri ile araştırıldı. Örneklerin absorpsiyon spektrumları, Cu katkı konsantrasyonunun artmasıyla enerji bant aralığı değerinin azaldığını ortaya çıkardı. SEM görüntüleri, Cu katkısıyla daha küresel ve homojen nanoyapıların oluştuğunu gösterdi. Elektrokimyasal sonuçlar, ZnO nanoparçacıklarında Cu katkılama oranının artırılmasının daha yüksek elektron transferi ile sonuçlandığını göstermiştir ki bu da ZnO nanoyapılı ince filmlerin Cu katkılanması ile iletkenliğinin arttığını göstermektedir. Basit ve ucuz bir yöntemle daha homojen, daha geniş spektrumlu absorpsiyon yeteneğine sahip ve daha iletken nanoyapılı ince filmler üretmenin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen ince filmlerin çok çeşitli nanoteknoloji uygulamaları için umut verici olduğu öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler

Bakır; Çinko Oksit;
Döngüsel Voltametri;
Elektrokimyasal; İnce
Film; Spin Kaplama

1. Introduction

Electrochemistry is a wide and multidisciplinary field concerned with either chemical changes caused by electric current or vice versa. So far, despite the basic principles of electrochemistry have been adequately explained for macro and micro dimensions, the application of electrochemical methods to nanoscale materials have not been studied extensively (Bard *et al.* 2001).

The electrochemical properties of nanomaterials including electronic, magnetic and optical features differs from large-scale materials (Aristov and Habekost 2015, Denuault, G. 2009). Nanomaterials can change their physicochemical features and structures depending on their physical environment, synthesis methods and process steps. This requires expertise of many research areas and the application of sophisticated tools and data analysis for the characterization of nanostructures. Previous studies have shown that electrochemical analysis is vital in nanostructure characterization as it provides the opportunity to improve performance. The electrochemical field is quite new in applying electrochemical methods to the testing of nanostructures by overcoming the limitations of traditional characterization approaches (Baer *et al.* 2008, Baer *et al.* 2013, Kuchibhatla *et al.* 2012, Grainger and Castner 2008).

Nanotechnology, which allows the development of new materials with unique and improved features, rapidly grow in many applications such as sensors, solar cells, fuel cells, photocatalysis, photodetectors, batteries, electrochromic displays, medicine, cosmetics, etc. Metal oxides are among the most preferred materials in nanotechnology field as they are cheap, non-hazardous, easy to synthesize and abundant (Xia *et al.* 2003, Thelander *et al.* 2006, Shen and Chen 2010, Carmo *et al.* 2011). Inorganic metal-oxide semiconductors such as CuO, Cu₂O, TiO₂, NiO, ZnO, etc. in nanomaterials production have been deeply investigated because of their improved optical and electrical properties. ZnO is considered as one of the front runners among metal oxide semiconductors due to its fascinating properties such as broad band gap of 3.36 eV and a large exciton binding energy of 60 meV, non-

toxicity, biocompatibility, photochemical properties and chemical stability (Lien *et al.* 2014, Gawande *et al.* 2016, Saito *et al.* 2014, Mittiga *et al.* 2006, Park *et al.* 2012, Mahajan *et al.* 2020).

However, pure ZnO is particularly active in the ultraviolet light range due to its broad band gap due to the low photo-conversion efficiency in visible light efficient applications (Karthik *et al.* 2022). Therefore, there is an enormous need to adjust the absorption area of ZnO from ultraviolet (UV) to visible one (Salem *et al.* 2017). Doping of ZnO thin films is the most commonly used strategy for band gap adjustment, control of morphology and photo-electrochemical properties (Esgin *et al.* 2022). The physicochemical properties of ZnO thin films can be greatly developed by adding of convenient elements. It has been reported that these doping elements are effective in creating energy levels within the band gap and causing visible light absorption. Various transition metals such as Mo, Ga, Ni, Fe and Cu have been used as additives in ZnO (Ashokkumar and Muthukumaran 2015, Ashokkumar and Muthukumaran 2015). Among these additives, Cu has been of great interest. The Cu²⁺ ionic radii (0.73 Å) is near to the Zn²⁺ ion (0.74 Å) and is very advantageous as it can easily fills the emptiness of zinc in the lattice structure (Naik *et al.* 2021). However, there has been a need to develop techniques that provide controlled synthesis, favorable structural properties, low temperature and low cost production in order to successfully increase the commercialization of Cu doped ZnO nanostructured thin films. Up to now, several deposition techniques have been proposed for the production of Cu doped ZnO nanostructured thin films, such as pulsed laser deposition, spray pyrolysis, DC magnetron sputtering and magnetron co-sputtering. However, these deposition techniques are difficult and costly. Spin coating is a simple and low cost method that has been used for thin film production (Shewale *et al.* 2013, Allabergenov *et al.* 2014, Drmosh *et al.* 2013, Liu *et al.* 2016). In light of this, this study was focused on Cu doped ZnO thin films production by a simple, easily controlled and rapid spin coating. The electrochemical, morphological and optical

properties of ZnO nanostructured thin films have been investigated by varying Cu concentration from 0 to 50%. Herein, it was aimed to report the commonly less investigated electrochemical properties of Cu doped ZnO nanostructured thin films produced by spin coating method. As will be seen below, the optical, morphological and electrochemical properties of ZnO nanostructured thin films improved as the Cu doping ratio increased indicating that the nanostructured thin films produced by spin coating have potential in many nanotechnology applications.

2. Experimental

All chemicals were supplied from Sigma Aldrich company. Cu doped ZnO nanostructured thin films were prepared on the microscope glasses by using sol-gel spin coating method. 1.5 cm x 1.5 cm glass substrates were cleaned in acetone and ethanol for about 15 minutes, respectively, to eliminate the contaminants and finally rinsed with deionized water in an ultrasonic bath. To prepare pure ZnO nanostructured thin films, 0.5 M zinc solution was prepared by dissolving zinc acetate dehydrate ($C_4H_{10}O_6Zn$) in dimethoxy ethanol ($C_4H_{10}O_3$) and three drops of monoethanolamine was dropped as a complexing agent. Also, for the Cu doping, a 0.5 M copper solution was prepared by dissolving copper(II) acetate ($Cu(CH_3COO)_2 \cdot H_2O$) in dimethoxy ethanol ($C_4H_{10}O_3$) and similarly three drops of monoethanolamine was dropped as a complexing agent. After the dissolution process, these two solutions were mixed in certain proportions to achieve the desired doping concentrations (0-50%). Then, all solutions were stirred at 70 °C for 1 hour on magnetic stirrer at atmospheric pressure. Afterwards, to prepare the thin films, the prepared solutions were dropped on microscope glasses and spin coated at 3000 rpm for 60 s and dried at 250 °C for 10 min to evaporate the solvents from the samples (Fig. 1). 10 layers were coated by repeating the same processes. After the coating process was completed, the prepared samples were annealed in a muffle furnace at 600 °C for 6 hours.

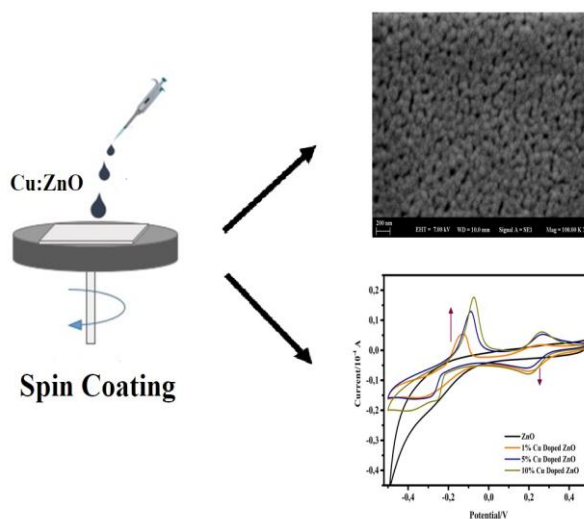


Figure 1. Schematic representation of the fabrication with spin coating method of ZnO nanostructure thin films doped with different concentrations (1-50%) of Cu

After the annealing process, the prepared pure ZnO and 1-50% ratios Cu doped ZnO nanostructured thin films were analyzed morphologically, optically and electrochemically by scanning electron microscope (SEM), fourier transfer infrared spectrum (FTIR), ultraviolet–visible spectrophotometry (UV-vis), mechanical profilometer, and cyclic voltammetry (CV). The thickness and average roughness of the thin films were measured by Veeco Dektak profilometer. The optical characterizations of pure ZnO and Cu doped ZnO nanostructured thin films were determined in the wavelength range of 190–1100 nm using PerkinElmer Lambda2 UV–vis spectrophotometer. The composition of prepared thin films were determined by PANalytical Minipal4 X-ray fluorescence (XRF) spectrometer. The FTIR spectra of all samples were measured by a PerkinElmer spectrometer-ATR mode in the range of 4000–650 cm^{-1} . The surface morphology of the thin films were observed using a Zeiss EVO LS 10 SEM. CV were measured in the voltage range of -0.5–0.5 V at sweep rates 100 mVs^{-1} . The measurements were conducted in 0.1 M NaCl solution with a Au disc coated with pure and Cu doped ZnO nanostructured thin films as the working electrode. In the measurements, Ag/AgCl was used as the reference electrode and a Pt wire as the counter electrode. After the thin film was coated by dropping pure and Cu doped ZnO aqueous solutions

on the Au disc of 2.0 mm in diameter and it was dried.

3. Results and discussion

XRF was used to determine the composition of nanostructured thin films. Figure 2 shows the quantitative results obtained from XRF measurement of pure ZnO, 1%, 10% and 50% Cu doped ZnO nanostructured thin films. As can be seen from Figure 2, in the pure ZnO spectrum, there is only the peak of the Zn element. The intensity of the Cu peak increased with the increase of the Cu doping ratio. Thus, XRF measurements have proved that the thin films produced in this study were doped with Cu.

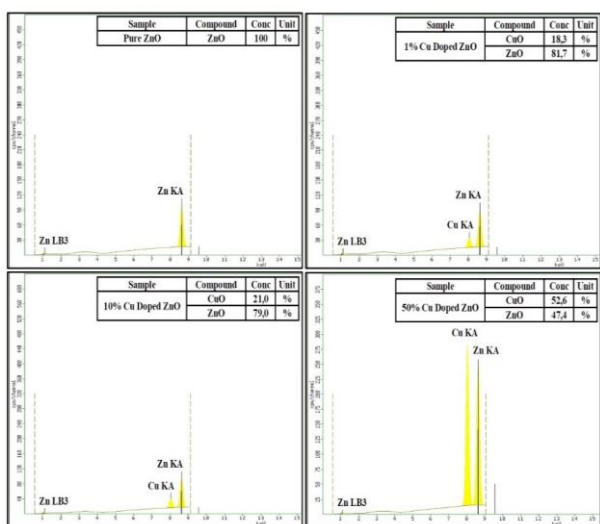


Figure 2. XRF spectra of pure ZnO, 1%, 10% and 50% Cu doped ZnO nanostructure thin films

SEM analysis was used to determine the effect of Cu doping on the morphology of the produced ZnO nanoparticled thin films. In Figure 3, SEM images illustrates the particle shapes and sizes varied by changing the Cu doping rates. In pure ZnO, the shapes of the nanostructures was not uniform and homogeneous, but as the Cu doping concentration increased, the nanostructures were more spherical and homogeneous. While the particle size for 1% Cu doped sample was about 35 nm, it increased up to 90 nm with the increasing Cu concentration. It has been observed that the films with higher Cu doping concentration have more homogeneous nanostructures. The results obtained from SEM

images are consistent with the mechanical profilometer measurement results.

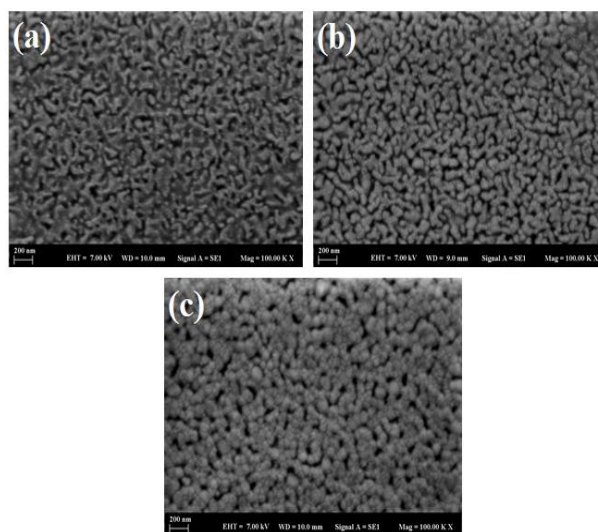


Figure 3. SEM images of (a) pure ZnO, (b) 1% and (c) 50% Cu doped ZnO nanostructure thin films

As the thickness and roughness of thin films affect their physical behavior, they have vital importance for applications based on thin films. Therefore, optimum thickness and roughness are focal parameters for thin film applications. Figure 4 shows, the thickness and roughness values measured by mechanical profilometer for pure ZnO, 1% and 50% Cu doped ZnO nanostructured thin films coated on glass substrates. The tables in Figure 2 show that the ratio of doping affected the roughness and thickness. The film thickness increased while the roughness values decreased as the doping ratio increased. As shown above, the SEM images reveal the homogeneity of the films changed as the Cu doping rate increased. With the doping of Cu ions to ZnO, the surface has become smoother as a result of the reduction of the gaps due to collection of more particles.

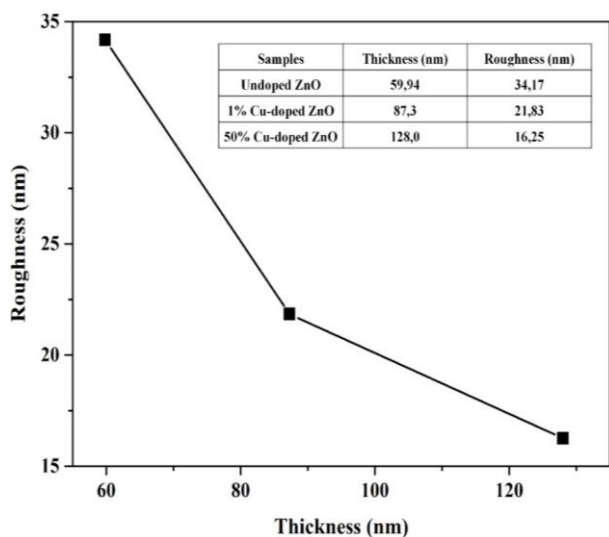


Figure 4. The average roughness of pure ZnO, 1% and 50% Cu doped ZnO nanostructure thin films

FTIR technique was used to analyze the structural interactions of ZnO and Cu. Figure 5 shows, the FTIR spectra of pure ZnO and different ratios (1-50%) Cu doped ZnO nanostructured thin films. The spectra was collected from wavenumber region of 650–4000 cm^{-1} . In the ZnO films, the peaks in the region between 700 and 1000 cm^{-1} correspond to Zn-O. The FTIR spectrum of undoped ZnO thin film has shown Zn-O absorption band near 763 cm^{-1} . The peak seen at 1654 cm^{-1} in the spectrum of 50% Cu doped ZnO nanostructured thin film corresponds to the stretching vibration of the Cu-O bond. As compared to FTIR spectra of pure ZnO films, a significant decrease in the intensity of bands and a shift in its positions towards lower wave number region is clearly seen in FTIR spectra with increasing Cu concentration (Handani *et al.* 2020, Yadav *et al.* 2021, Raul *et al.* 2014, Wang and An 2017). This result indicates that there is an interaction between Cu and ZnO.

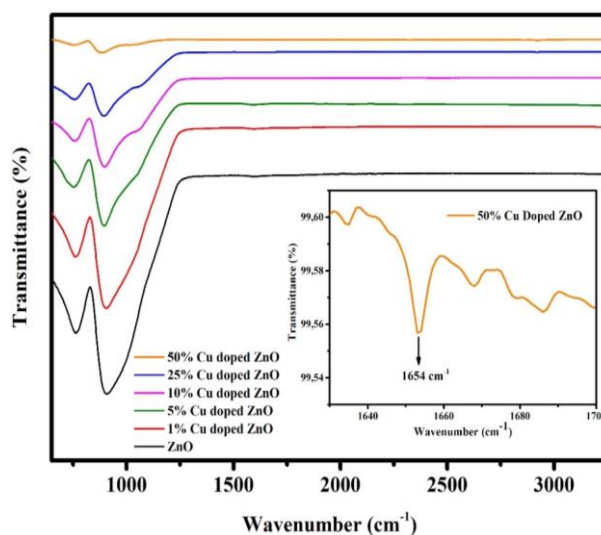


Figure 5. FTIR spectra of pure ZnO and ZnO nanostructure thin films with different concentrations (1-50%) of Cu

UV-Vis spectroscopy is commonly used to determine optical properties of nanostructures. Figure 6 illustrates that the absorption spectra of pure and different ratios (1-50%) Cu doped ZnO nanostructured thin films in the wavelength range of 190-1100 nm. In the literature, there is an absorption peak at about 320 nm in the ZnO spectrum. However, an absorption peak can be seen at about 256 nm due to the different sizes of ZnO nanoparticles (Talam *et al.* 2012). The absorbance increased in the wavelength range of 200-400 nm with increasing doping concentration. This result is due to the increase in particle size and film thickness.

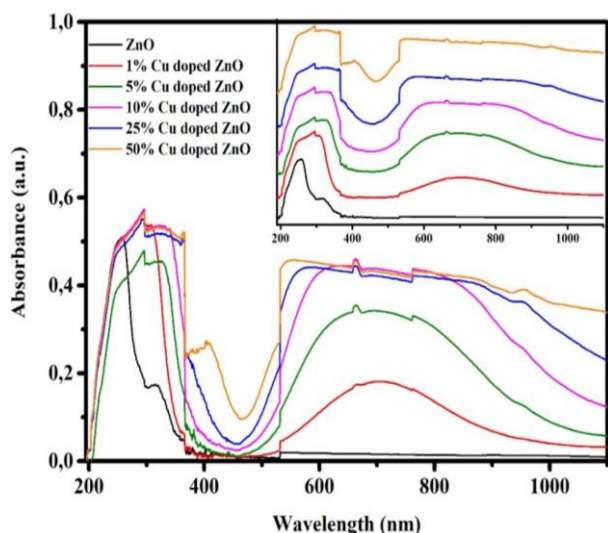


Figure 6. UV-Vis spectra of pure and ZnO nanostructure thin films with different concentrations (1-50%) of Cu

Doping of ZnO thin films with Cu shifted the absorption edge to the visible region. The reason for this shift could be due to the decreasing energy gap of ZnO calculated by Tauc plot method (Modwi *et al.* 2018). In addition, a new absorption peak with increasing intensity in the range of 500-900 nm was occurred with the increasing concentration of Cu doping (Talam *et al.* 2012, Modwi *et al.* 2018, Patel *et al.* 2017, Wang *et al.* 2014). The optical band gaps of the prepared thin films were calculated using Tauc the equation:

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^n \quad (1)$$

where α , $h\nu$, E_g and B is the absorption coefficient, photon energy, optical band gap and band tailing parameter, respectively. $n = 1/2$ is taken for direct transition since ZnO is a direct band gap semiconductor. The optical band gap was calculated by extrapolating the linear portion of the curve between $(\alpha h\nu)^2$ and $h\nu$ when α was equal to zero (Nouasria *et al.* 2021, Pon *et al.* 2021). The optical band gap of prepared nanostructure thin films were appraised by plotting $(\alpha h\nu)^2$ versus $h\nu$ and extrapolated the linear part of the absorption peak to determine the intercept with x-axis as shown in Figure 7. The band gap were calculated from the Tauc plots as 3.45, 3.41 and 2.87 eV for pure ZnO, 1% and 25% Cu doped ZnO nanostructure thin films, respectively (Abderrahmane *et al.* 2021). As can be

seen from the UV results, the doping of Cu to the ZnO thin films caused absorption in the wider band gap region. This means that nano structures suitable for use in technological applications that are active in the visible region are produced.

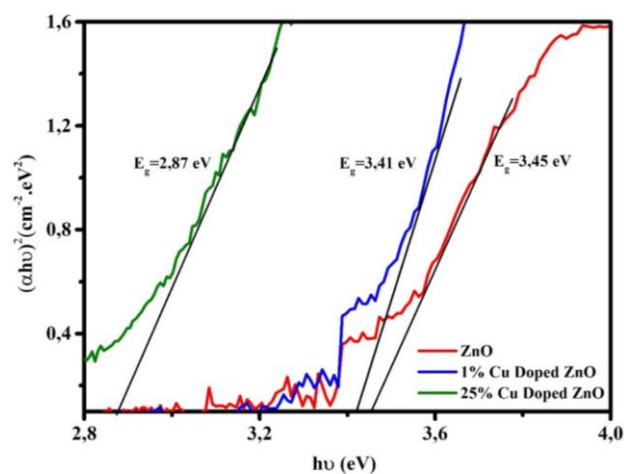


Figure 7. Tauc's plot evaluated from UV-Vis absorption spectrum for pure ZnO, 1% and 25% Cu doped ZnO nanostructure thin films

Nanostructured materials have active characteristics due to their physicochemical features depending upon their ambient conditions and synthesis processes. Therefore, studying the complex electrochemical characterizations of nanomaterials is of great importance. To investigate the effect of Cu doping on the electrochemical performance of the ZnO thin film were studied by CV was performed in the potential range from -0.5 to 0.5 V at a scan rate of 100 mV/s in 0.1 M NaCl aqueous solution. Figure 8 shows CVs of pure ZnO, 1%, 5% and 10% Cu doped ZnO nanostructure thin films. At CV curve of pure ZnO thin film, the distinguishable redox peaks has been not identified. Cyclic voltammetric behavior of 1% Cu doped ZnO nanostructure thin film has shown two oxidation peaks at 0.252 V and -0.122 V and two reduction peaks at -0.316 V and 0.214 V. 5% Cu doped ZnO nanostructure thin film has shown two oxidation peaks at 0.262 V and -0.086 V and two reduction peaks at -0.318 V 0.214 V. 10% Cu doped ZnO nanostructure thin film has shown two oxidation peaks at 0.266 V and -0.066 V and two reduction peaks at -0.342 V 0.204 V. As can be seen in voltamogram, the first oxidation peaks shift toward more positive potential and this indicates that

addition Cu leads to prevent oxidation. The shape of the CV loop of the nanostructured thin films have indicated that improved charge dissipation takes place at the electrode surface. It was seen that ZnOs doped with Cu performed better electrochemical properties than pure ZnO. This shows that Cu doping to ZnO thin films could improve the relative electron transfer. All prepared Cu doped nanostructure thin films has shown enhanced peak current compared to the pure ZnO. This indicates that the Cu doped electrode can be more preferable in electrochemical applications. There has been an increase in peak current in almost all samples with increasing the concentration of Cu doping (Naik *et al.* 2021, Mahmoud *et al.* 2019).

4. Conclusions

In this study, ZnO nanostructured thin films were prepared with Cu at different ratios (0-50%) by the spin coating which is an extremely simple and inexpensive technique. The chemical groups of prepared thin films were identified by FTIR spectra and prominent IR peaks were analyzed. From FTIR data, it was seen that Cu was doped to ZnO thin films due to the change in the intensity and positions of the Z-O peaks with increasing Cu concentration. The increase in the doping ratio of Cu was also confirmed by XRF measurement. Absorption spectra showed that the value of the energy band gap changes depending on the Cu doping ratio. The band gap energy value decreased as expected due to the increase in Cu doping ratio. As can be seen from the SEM images, more spherical and homogeneous nanostructures were formed with the doping of Cu. The film thickness increased and roughness decreased due to the homogeneous structure as the doping ratio increased. Electrochemical measurements revealed that increase in Cu doping ratio in ZnO nanoparticles resulted in high electron transfer indicating that the conductivity of ZnO nanostructured thin films increased with Cu doping. All these results have shown that it is possible to produce more homogeneous, able to absorption in more wide spectrum and more conductive nanostructure thin films with a simple and inexpensive method. The

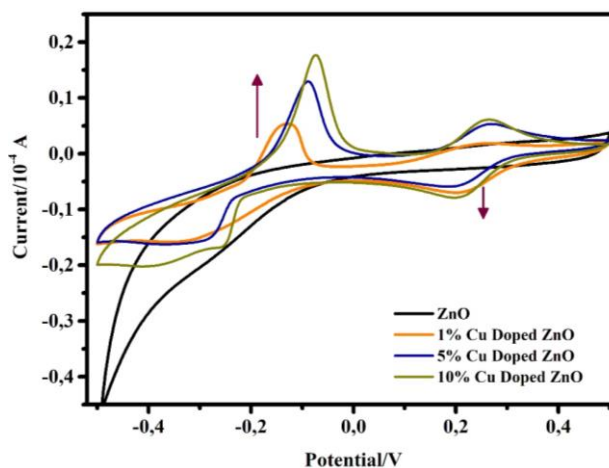


Figure 8. The cyclic voltammetry curves of pure ZnO, 1%, 5% and 10% Cu doped ZnO nanostructure thin films at a scan rate of 100 mV/s in 0.1 M NaCl aqueous solution

thin films produced in this study are quite suitable for many nanotechnology applications.

5. References

- Abderrahmane, B., Djamila, A., Chaabia, N., Fodil R., 2020. Improvement of ZnO nanorods photoelectrochemical, optical, structural and morphological characterizations by cerium ions doping. *Journal of Alloys and Compounds*, **829**, 154498.
- Allabergenov, B., Tursunkulov, O., Abidov, A.I., Choi, B., Wook, J.S., and Kim, S., 2014. Microstructural analysis and optical characteristics of Cu-doped ZnO thin films prepared by DC magnetron sputtering. *Journal of Crystal Growth*, **401**, 573–576.
- Aristov, N., and Habekost, A., 2015. Cyclic Voltammetry- A Versatile Electrochemical Method Investigating Electron Transfer Processes. *World Journal of Chemical Education*. **3**, 115–119.
- Ashokkumar, M., and Muthukumar, S., 2015. Electrical, dielectric, photoluminescence and magnetic properties of ZnO nanoparticles co-doped with Co and Cu. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **374**, 61–66.
- Ashokkumar, M., and Muthukumar, S., 2015. Enhanced room temperature ferromagnetism and photoluminescence behavior of Cu-doped ZnO co-

- doped with Mn. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, **69**, 354–359.
- Baer, D.R., Amonette, J.E., Engelhard, M.H., Gaspar, D.J., Karakoti, A.S., Kuchibhatla, S., Nachimuthu, P., Nurmi, J.T., Qiang, Y., Sarathy, V., Seal, S., Sharma, A., Tratnyek, P.G., and Wang, C.-M., 2008. Characterization challenges for nanomaterials. *Surface and Interface Analysis*, **40**, 529–537.
- Baer, D.R., Engelhard, M.H., Johnson, G.E., Laskin, J., Lai, J., Mueller, K., Munusamy, P., Thevuthasan, S., Wang, H., Washton, N., Elder, A., Baisch, B.L., Karakoti, A., Kuchibhatla, S.V.N.T., and Moon, D., 2013. Surface characterization of nanomaterials and nanoparticles: Important needs and challenging opportunities. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, **31**, 050820.
- Bard, A. J., and Faulkner, La. R., 2001. *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*. New York: Wiley, , 2nd ed., *Russian Journal of Electrochemistry*, **38 (2002)**, 1364–1365.
- Carmo, M., Sekol, R.C., Ding, S., Kumar, G., Schroers, J., and Taylor, A.D., 2011. Bulk metallic glass nanowire architecture for electrochemical applications. *ACS Nano*, **5**, 2979–2983.
- Denuault, G., 2009. Electrochemical techniques and sensors for ocean research. *Ocean Science Discussions*, **6**, 1857–1893.
- Drmosh, Q.A., Rao, S.G., Yamani, Z.H., Gondal, M.A., 2013. Crystalline nanostructured Cu doped ZnO thin films grown at room temperature by pulsed laser deposition technique and their characterization. *Applied Surface Science*, **270**, 104–108.
- Esgin, H., Caglar, Y., Caglar, M., 2021. Photovoltaic performance and physical characterization of Cu doped ZnO nanopowders as photoanode for DSSC. *Journal of Alloys and Compounds*, **890**, 161848.
- Gawande, M.B., Goswami, A., Felpin, F.X., Asefa, T., Huang, X., Silva, R., Zou, X., Zboril, R., Varma, R.S., 2016. Cu and Cu-Based Nanoparticles: Synthesis and Applications in Catalysis. *Chemical Reviews*, **116**, 3722–3811.
- Grainger, D.W., and Castner, D.G., 2008. Nanobiomaterials and nanoanalysis: Opportunities for improving the science to benefit biomedical technologies. *Advanced Materials*, **20**, 867–877.
- Handani, S., Emriadi, D., Dahlan, S.A., 2020. Enhanced structural, optical and morphological properties of ZnO thin film using green chemical approach. *Vacuum*, **179**, 109513.
- Karthik, K. V., Raghu, A.V., Reddy, K. R., Ravishankar, R., Sangeeta, M., Shetti, N. P., Reddy, C. V., 2022. Green synthesis of Cu-doped ZnO nanoparticles and its application for the photocatalytic degradation of hazardous organic pollutants. *Chemosphere*, **287**, 132081.
- Kuchibhatla, S.V.N.T., Karakoti, A.S., Baer, D.R., Samudrala, S., Engelhard, M.H., Amonette, J.E., Thevuthasan, S., and Seal, S., 2012. Influence of aging and environment on nanoparticle chemistry: Implication to confinement effects in nanocerium. *Journal of Physical Chemistry C*, **116**, 14108–14114.
- Lien, H.T., Wong, D.P., Tsao, N.H., Huang, C.I., Su, C., Chen, K.H., and Chen, L.C., 2014. Effect of copper oxide oxidation state on the polymer-based solar cell buffer layers. *ACS Applied Materials and Interfaces*, **6**, 22445–22450.
- Liu, H., Zhou, P., Zhang, L., Liang, Z., Zhao, H., and Wang, Z., 2016. Effects of oxygen partial pressure on the structural and optical properties of undoped and Cu-doped ZnO thin films prepared by magnetron co-sputtering. *Materials Letters*, **164**, 509–512.
- Mahajan, P., Singh, A., and Arya, S., 2020. Improved performance of solution processed organic solar cells with an additive layer of sol-gel synthesized ZnO/CuO core/shell nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds*, **814**, 152292.
- Mahmoud, A., Echabaane, M., Omri, K., Mir, L. E., Chaabane, R.B., 2019. Development of an impedimetric non enzymatic sensor based on ZnO and Cu doped ZnO nanoparticles for the detection of glucose. *Journal of Alloys and Compounds*, **786**, 960–968.
- Mittiga, A., Salza, E., Sarto, F., Tucci, M., and Vasanthi, R., 2006. Heterojunction solar cell with 2% efficiency based on a Cu₂O substrate. *Applied Physics Letters*, **88**, 163502.

- Modwi, A., Ghanem, M.A., Al-Mayouf, A.M., and Houas, A., 2018. Lowering energy band gap and enhancing photocatalytic properties of Cu/ZnO composite decorated by transition metals. *Journal of Molecular Structure*, **1173**, 1–6.
- Naik, E. I., Naik, H. S. B., Swamy, B.E. K., Viswanath, R., Gowda, I.K. S., Prabhakara, M.C., Chetankumar, K., 2021. Influence of Cu doping on ZnO nanoparticles for improved structural, optical, electrochemical properties and their applications in efficient detection of latent fingerprints. *Chemical Data Collections*, **33**, 100671.
- Nouasria, F.Z., Selloum, D., Henni, A., Zerrouki, D., Tingry, S., 2021. Gradient doping of Cu(I) and Cu(II) in ZnO nanorod photoanode by electrochemical deposition for enhanced photocurrent generation. *Ceramics International*, **47**, 19743–19751.
- Park, S.Y., Seo, H.O., Kim, K.D., Shim, W.H., Heo, J., Cho, S., Kim, Y.D., Lee, K.H., and Lim, D.C., 2012. Organic solar cells fabricated by one-step deposition of a bulk heterojunction mixture and TiO₂/NiO hole-collecting agents. *Journal of Physical Chemistry C*, **116**, 15348–15352.
- Patel, R.N., Singh, Y.P., Singh, Y., Butcher, R.J., and Jasinski, J.P., 2017. Syntheses, single crystal structures, DFT and antioxidant superoxide dismutase studies of some new mono-/binuclear copper(II) complexes. *Polyhedron*, **129**, 164–181.
- Pon, V.D., Wilson, K.S. J., Hariprasad, K., Ganesh, V., Ali, H. E., Algarni, H., and Yahia, I.S., 2021. Enhancement of optoelectronic properties of ZnO thin films by Al doping for photodetector applications. *Superlattices and Microstructures*, 106790.
- Raul, P.K., Senapati, S., Sahoo, A.K., Umlong, I.M., Devi, R.R., Thakur, A.J., and Veer, V., 2014. CuO nanorods: A potential and efficient adsorbent in water purification. *RSC Advances*, **4**, 40580–40587.
- Saito, G., Nakasugi, Y., Yamashita, T., and Akiyama, T., 2014. Solution plasma synthesis of bimetallic nanoparticles. *Nanotechnology*, **25**, 135603.
- Salem, M., Massoudi, I., Akir, S., Litaiem, Y., Gaidi, M., and Khirouni, K., 2017. Photoelectrochemical and optoelectronic properties tuning of ZnO films: Effect of Cu doping composition. *Journal of Alloys and Compounds*, **722**, 313–320.
- Shen, G., and Chen, D., 2010. One-dimensional nanostructures for electronic and optoelectronic devices. *Frontiers of Optoelectronics in China*, **3**, 125–138.
- Shewale, P.S., Patil, V.B., Shin, S.W., Kim, J.H., Uplane, M.D., 2013. H₂S gas sensing properties of nanocrystalline Cu-doped ZnO thin films prepared by advanced spray pyrolysis. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, **186**, 226–234.
- Talam, S., Karumuri, S.R., and Gunnam, N., 2012. Synthesis, Characterization, and Spectroscopic Properties of ZnO Nanoparticles. *ISRN Nanotechnology*, **2012**, 1–6.
- Thelander, C., Agarwal, P., Brongersma, S., Eymery, J., Feiner, L.F., Forchel, A., Scheffler, M., Riess, W., Ohlsson, B.J., Gösele, U., and Samuelson, L., 2006. Nanowire-based one-dimensional electronics. *Materials Today*, **9**, 28–35.
- Wang, Z., and An, P., 2017. Characterization of copper complex nanoparticles synthesized by plant polyphenols. *BioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/134940>.
- Wang, Z., Wang, J., Li, M., Sun, K., and Liu, C.J., 2014. Three-dimensional printed acrylonitrile butadiene styrene framework coated with Cu-BTC metal-organic frameworks for the removal of methylene blue. *Scientific Reports*, **4**, 1–7.
- Xia, Y., Yang, P., Sun, Y., Wu, Y., Mayers, B., Gates, B., Yin, Y., Kim, F., and Yan, H., 2003. One-dimensional nanostructures: Synthesis, characterization, and applications. *Advanced Materials*, **15**, 353–389.
- Yadav, S., Mehrotra, G.K., and Dutta, P.K., 2021. Chitosan based ZnO nanoparticles loaded gallic-acid films for active food packaging. *Food Chemistry*, **334**, 127605.

Tiyazol Türevlerinin Glutasyon Redüktaz Üzerindeki İnhibitör Etkilerinin Belirlenmesi

Arzu ÖZTÜRK KESEBİR^{1*}

¹ Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Erzurum, Türkiye.

arzuozturk_20@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2603-7509>

Geliş Tarihi: 04.11.2021

Kabul Tarihi: 16.12.2021

Öz

Glutasyon redüktaz (GR), oksitlenmiş glutatyondan (GSSG) indirgenmiş glutasyonun (GSH) geri kazanımını katalize ederek GSH/GSSG oranını korumak için gerekli olan önemli bir antioksidan enzimdir. Bu hayati görev nedeniyle, GR'nin inhibisyonu birçok hastalığın tedavisinde önemli bir hedeftir, bu nedenle ilaç tasarımında yol gösterici olacak yeni GR inhibitörlerini belirlemeyi amaçladık. Daha önce, farklı 2-aminotiyazol analoglarının in vitro antikanser değerlendirme çalışmaları, meme, lösemi, akciğer, kolon, CNS, melanom, yumurtalık, böbrek ve prostat gibi çok çeşitli insan kanserli hücre hatlarına karşı güçlü ve seçici nanomolar inhibitör aktiviteleri sergiledikleri çalışmalarla doğrulandı. Çalışmamızda taze insan eritrositlerinden izole edilen GR üzerine, C-2 pozisyonunda amino grubu içeren ve terapötik uygulamalarda çekirdek yapı olarak kullanılan tiyazol türevi altı maddenin inhibisyon etkisini araştırdık. 2-amino-4-(2,4-diflorofenil)tiyazol, 2-amino-4-(4-bromofenil)tiyazol, 2-amino-5-metil-4-feniltiyazol, 2-amino-4-(5,6),7,8-tetrahidro-2-naftil)tiyazol, 2-amino-4-(4-klorofenil)tiyazol, 4-(3,4-diflorofenil)-1,3-tiyazol-2-amino bileşiklerinin sırasıyla IC₅₀ değerleri 0,64 µM, 3,69 µM, 42,8 µM, 0,91 µM, 0,63 µM ve 21 µM olarak belirledik. Ki değerleri ise sırasıyla 0,006±0,00048 µM, 0,33±0,11 µM, 63,61±0,33 µM, 0,905±0,073 µM, 0,89±0,47 µM, 97,44 µM olarak hesaplandı. En yüksek inhibisyon etkisini 2-amino-4-(2,4-diflorofenil) tiyazol, en düşük inhibisyon etkisini ise 4-(3,4-diflorofenil)-1,3-tiyazol-2-aminonun gösterdiği görüldü. Sadece 2-Amino-4-(2,4-diflorofenil) tiyazolün yarışmalı inhibisyon sergilediği, diğer bileşiklerin yarışmasız inhibisyon sergilediği görüldü. Çalışmamız, bu tiyazol türevlerinin güçlü GR inhibitörleri olduğunu, yeni ilaç adayların belirlenmesi için yol gösterici olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler

Tiyazol; glutasyon redüktaz; inhibisyon; enzim; ilaç tasarımı; antioksidan

Determination of Inhibitory Effects of Thiazole Derivatives on Glutathione Reductase

Abstract

Glutathione reductase enzyme (GR) is an important enzyme that catalyzes the formation of reduced glutathione (GSH) from oxidized glutathione (GSSG) and undertakes the task of maintaining the GSH/GSSG ratio in the body. This important task has made the inhibition of GR an important target in the treatment of many diseases. Therefore, it is very important to identify new GR inhibitors that can be used in drug design. In vitro anticancer studies of different 2-aminothiazole analogs have been shown to have potent inhibitory activities against a wide variety of human cancer cell lines, including lung, leukemia, breast, ovarian, kidney, melanoma, colon, CNS, and prostate. We investigated the inhibition effect of six thiazole derivatives, which contain an amino group at the C-2 position and used as a core structure in therapeutic applications, on GR isolated from fresh human erythrocytes. We determined the IC₅₀ values of compounds 2-amino-4-(2,4-difluorophenyl) thiazole, 2-amino-4-(4-bromophenyl)thiazole, 2-amino-5-methyl-4-phenylthiazole, 2-amino-4-(5,6,7,8-tetrahydro-2-naphthyl)thiazole, 2-amino-4-(4-chlorophenyl)thiazole, 4-(3,4-difluorophenyl)-1,3-thiazole-2-amino 0,64 µM, 3,69 µM, 42,8 µM, 0,91 µM, 0,63 µM ve 21 µM respectively. Ki values were calculated as 0,006±0,00048 µM, 0,33±0,11 µM, 63,61±0,33 µM, 0,905±0,073 µM, 0,89±0,47 µM, 97,44 µM respectively. It was observed that 2-amino-4-(2,4-difluorophenyl) thiazole had the highest inhibition effect and 4-(3,4-difluorophenyl)-1,3-thiazol-2-amino had the lowest inhibition effect. It was observed that only 2-amino-4-(2,4-difluorophenyl)thiazole exhibited competitive inhibition, while other compounds exhibited non-competitive inhibition. Our study shows that these thiazole derivatives are potent GR inhibitors and can be used as a guide for the identification of new drug candidates.

Keywords

Thiazole; Glutathione Reductase; Inhibition; Enzyme; Drug Design; Antioxidant

1. Giriş

Son yörüngesinde bir veya daha fazla eşlenmemiş elektron bulunduran atomlara veya moleküllere serbest radikaller adı verilmektedir (Karabulut ve Gülay 2016). Süperoksit, alkoksit, peroksit, hidroksit, nitrik asit ve nitrojen dioksitler serbest radikaldir ve oksijenden türetilmişlerdir. Bu yapılar vücutta dış etkilerle ya da metabolik yollarla vasıtasıyla oluşurlar ve DNA'ya geri dönüşümsüz bağlanabilirler (Özaslan vd. 2017). Serbest radikaller proteinlere, enzimlere ve lipitlere kovalent bağla bağlanabilir, koenzimlerin, nükleik asitlerin ve hücre zarının yapısını bozarak metabolik hastalıklara neden olabilirler. Enzimler biyolojik katalizörlerdir, bazı metabolik enzimler vücuda giren ilaç veya kimyasallardan doğrudan etkilenirler (Demir vd. 2018).

Reaktif oksijen türleri (ROS), serbest radikallerin oldukça önemli bir bileşenidirler. Yapılarında eşleşmemiş elektronlar bulundururlar (Güller vd. 2014). Vücutta işlevsel aktiviteler ve metabolizma olayları esnasında üretilirler, gen ekspresyonunda, hücrelerin sinyalizasyon işlerinde, iyonların taşınmasında ve apoptozda görev alırlar. Proteinlerin, lipidlerin ve nükleik asitlerin oksidatif bozunması sonucu aşırı ROS birikimi ve oksidatif stres meydana gelebilir (Özaslan vd. 2018).

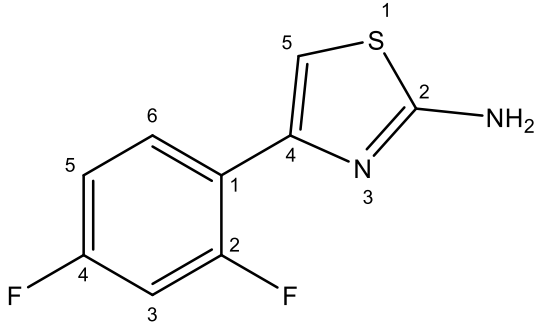
Glutasyon (GSH) hücrede en çok bulunan ve protein yapısında olmayan bir moleküldür. Hücrelerde serbest radikallerin giderilmesi ve enzimatik olmayan yollarla koruma görevlerini üstlenir. Bağışıklık sistemi için önemli olan fibrogenez, hücre proliferasyonu ve apoptozda önemli rol oynar (Demir vd. 2017).

Glutasyon redüktaz (GR), oksidoredüktaz aileden NADP'ye bağımlı bir enzimdir. Glutasyon disülfidin, sülfidril form glutasyona indirgenmesini katalize eder. GR, protein ve DNA biyosentezi, reaktif oksijen türlerinin ve serbest radikallerin detoksifikasyonu gibi hücrenin çeşitli önemli işlerini yerine getirir (Demir 2019).

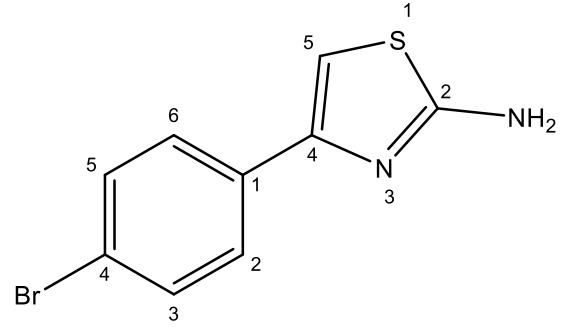
Tiyazoller, çok sayıda tıbbi öneme sahip molekülün farmakoforlarının bileşen etkisine sahiptirler.

Antibakteriyel (Oh *et al.* 2002) antiprotozoal (Tapia *et al.* 2003), antitüberküler (Kumar *et al.* 2010), antifungal (Samadhiya *et al.* 2012, Sonwane and Srivastava 2008), ve antelmintik (Srivastava *et al.* 2004) potansiyel tıbbi uygulamalarında özellikle tercih edilmektedirler. Tiyazol türevleri, kardiyotonik, fungusidal, sedatif, anestetik, bakterisidal ve antiinflamatuvar gibi çok çeşitli biyolojik aktiviteler sergiler (Khalifa 2018, Kumar *et al.* 2012). Bu özelliklerinden dolayı tiyazol türevleri, farmasötikler alanındaki geniş uygulamaları nedeniyle büyük ilgi görmüştür.

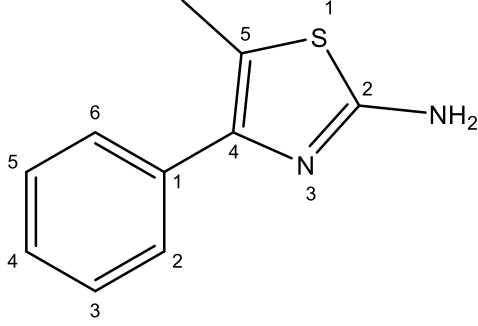
2 konumlu benzotiyazoller çeşitli terapötik uygulamalarda çekirdek yapı olarak ortaya çıkmaktadır. (Masoudi *et al.* 2014, Kaur *et al.* 2010, Priyanka *et al.* 2010, Gajdos *et al.* 2009, Nadeem *et al.* 2009, Singh *et al.* 2009, Chavan and Pai 2007). Aktivite çalışmaları, yapıda C-2 pozisyonundaki sübstitüent grubunun yapısının değişmesinin genellikle biyoaktivitesinin değişmesiyle sonuçlandığını ortaya koymaktadır. 2-amino tiyazoller özellikle antiviral (Ghaemmaghami *et al.* 2010), antimikrobiyal (Siddiqui *et al.* 2007), antikanser (Kesicki *et al.* 2016) ve anti-inflamatuvar aktivitelere (Lin *et al.* 2009) sahip bir heterosiklik halka sistemi sınıfını temsil ederler. Daha önce, farklı 2-aminotiyazol analoglarının in vitro antikanser değerlendirme çalışmaları, meme, lösemi, akciğer, kolon, CNS, melanom, yumurtalık, böbrek ve prostat gibi çok çeşitli insan kanserli hücre hatlarına karşı güçlü ve seçici nanomolar inhibitör aktiviteleri sergiledikleri çalışmalarla doğrulanmıştır (Gorczyński *et al.* 2004, Kayagil ve Demirayak 2009). Bu çalışmada GR enzim aktivitesi üzerine C-2 pozisyonunda amino grubu bulunduran altı adet tiyazol türevinin (2-amino-4-(2,4-difluorophenyl)thiazole, 2-amino-4-(4-bromophenyl)thiazole, 2-amino-5-methyl-4-phenylthiazole, 2-amino-4-(5,6,7,8-tetrahydro-2-naphthyl)thiazole, 2-amino-4-(4-chlorophenyl)thiazole, 4-(3,4-difluorophenyl)-1,3-thiazole-2-amino) (Şekil 1) etkileri incelenmiştir.



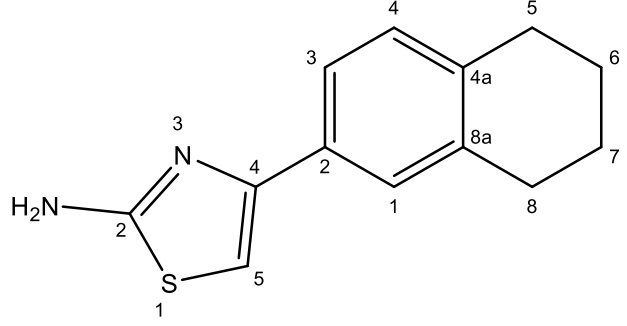
2-amino-4-(2,4-diflorofenil) tiyazol



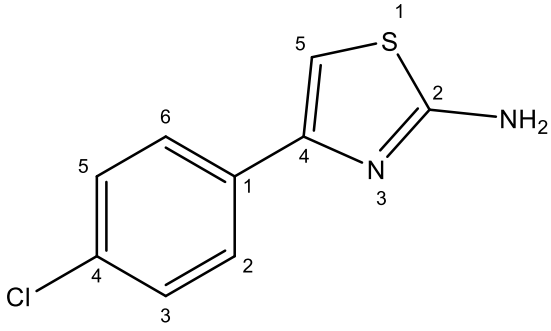
2-amino-4-(4-bromofenil)tiyazol



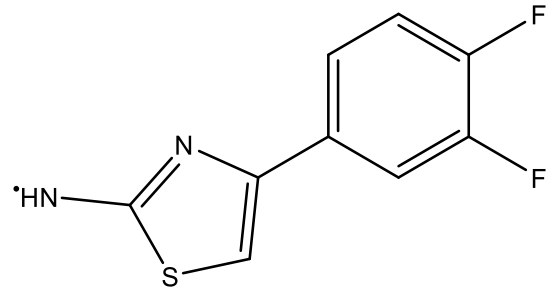
2-amino-5-metil-4-feniltiyazol



2-amino-4-(5,6,7,8-tetrahidro-2-naftil)tiyazol



2-amino-4-(4-klorofenil)tiyazol



4-(3,4-diflorofenil)-1,3-tiyazol-2-amino

Şekil 1. Çalışmada kullanılan tiyazol türevi bileşiklerin molekül yapıları

2. Materyal ve Metot

2.1 Kimyasallar

Tüm kimyasallar Sigma&Aldrich (Taufkirchen, Germany) firmasından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan eritrosit Atatürk Üniversitesi Araştırma hastanesi kan merkezinden taze olarak temin edilmiştir.

2.2 GR'nin Saflaştırılması ve Aktivite Ölçümü

Taze insan eritrositleri buzlu hemoliz çözeltisi ile hemoliz edildi. 13000 xg'de santrifüj edilen hemolizat, 2'5'-ADP Sepharose-4B afinite kolonuna uygulandı. Kolon 0,1 M potasyum asetat içeren 0,1 M pH 6.0 potasyum fostat tamponu ile yıkandı. 1 mM EDTA içeren pH 7.0 olan potasyum tamponu ile ilave yıkama yapıldı. Elüsyon 1,5 mL'lik örnekler şeklinde alındı ve enzim aktivitesi 340 nm'de ölçüldü (Şentürk vd. 2008).

1 EU, 1 dakikada 1 µM substratı ürüne dönüştüren enzim miktarı olarak hesaplandı.

2.3 Tiyazol türevi bileşiklerin GR aktivitesi üzerine etkileri

Tiyazollerin GR aktivitesi üzerine etkilerinin araştırılması amacıyla aktivite ölçüm ortamına en az 5 farklı konsantrasyonda tiyazol türevi eklendi ve aktivite ölçümü yapıldı. Enzimi inhibe eden maddeler için Ki değerleri ve inhibisyon türleri Lineweaver ve Burk eğrileri (1934) ile bulundu.

3. Bulgular

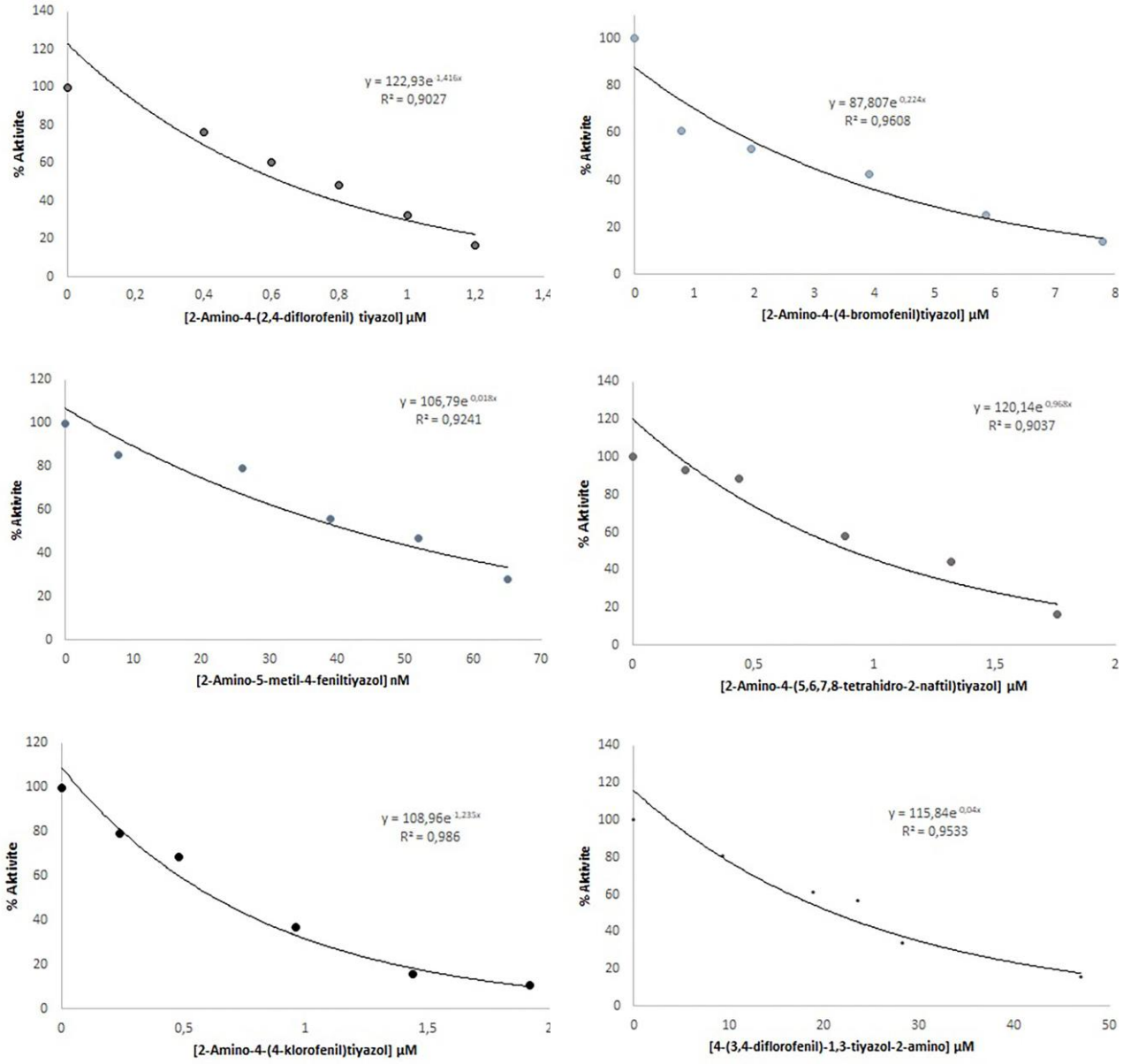
GR enzimi insan eritrositlerinden 2'5'-ADP Sepharose-4B afinite kolonu kullanılarak % 44,8 verim ve 17,57 EU/mg spesifik aktivite ile 2281.82 kat saflaştırma sağlanmıştır (Çizelge 1). C-2 atomunda amino grubu ihtiva eden bazı tiyazol türevlerinin, İnsan eritrositlerinden izole edilen GR üzerine etkilerinin görülmesi amacıyla aktivite ortamına 5 farklı konsantrasyonda eklenen tiyazol türevi bileşiklerin GR'yi inhibe ettiği gözlemlendi. %100 enzim aktivitesine sahip kontrol küvetine herhangi bir tiyazol türevi eklenmedi. IC₅₀, %50 inhibisyona neden olan inhibitör konsantrasyonu olarak tanımlandı ve çizilen % Aktivite-[Tiyazol] grafikleri üzerinden her bir bileşik için ayrı ayrı hesaplandı (Şekil 2). Ki değerleri ve inhibisyon tipleri Lineweaver-Burk eğrileri ile belirlendi (Şekil 3, Çizelge 2).

En düşük IC₅₀ değeri 0,63 µM ile 5 numaralı bileşik, en yüksek IC₅₀ değeri ise 42,8 µM ile 3 numaralı bileşik için elde edildi. IC₅₀ değeri için sıralama 3>6>2>4>1>5 şeklindedir (Çizelge 2).

Ki değerleri ise 6>3>4>5>2>1 şeklindedir. 1 numaralı bileşik yarışmalı inhibisyon sergilemiş, diğer bileşikler yarışmasız inhibisyon sergilemişlerdir (Çizelge 2).

Çizelge 1. İnsan eritrositlerinden GR enzimi saflaştırma grafiği

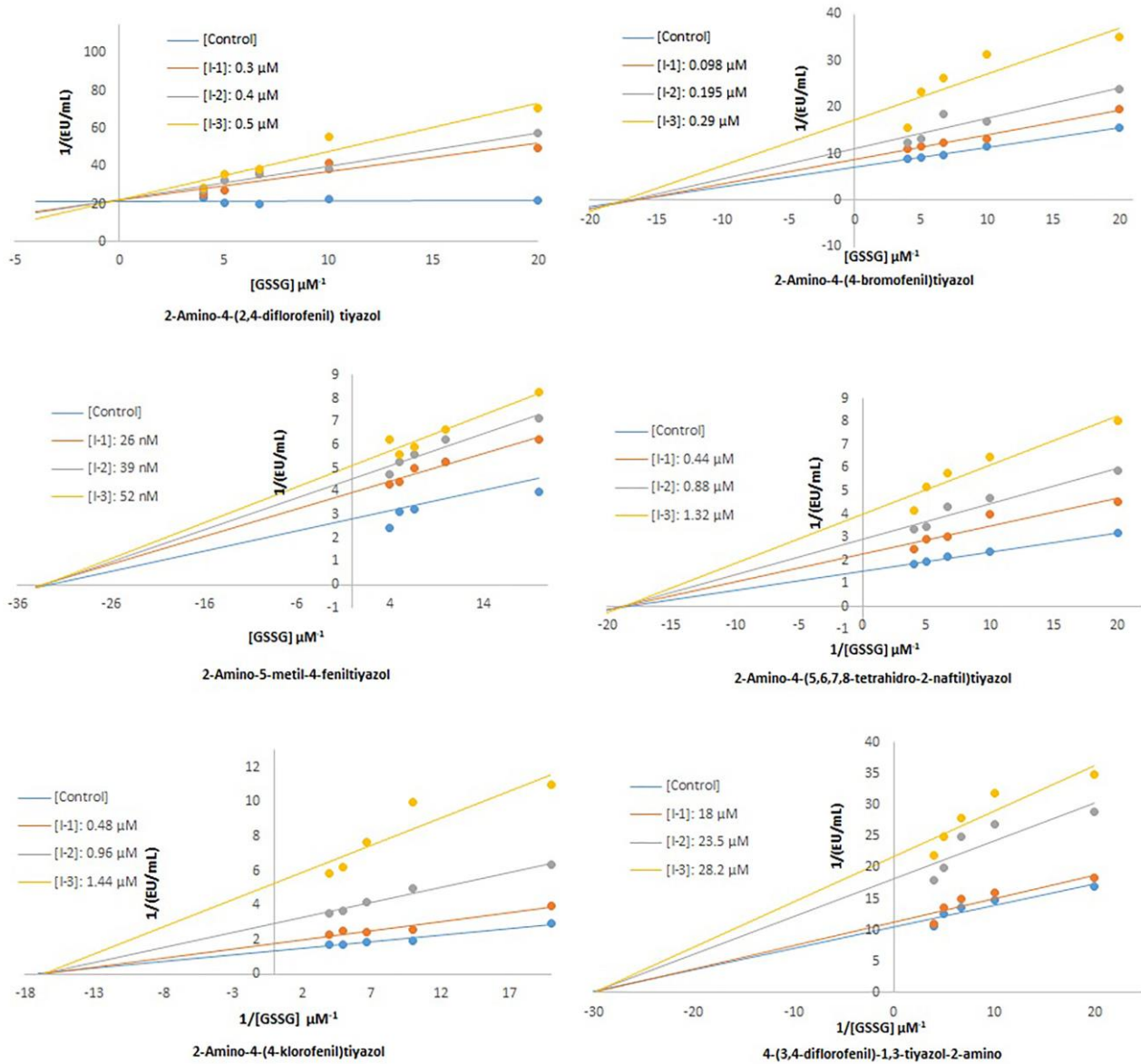
Saflaştırma Basamağı	Toplam hacim (mL)	Toplam protein (mg)	Toplam aktivite (EU)	Spesifik aktivite (EU/mg)	Saflaştırma katsayısı	Verim (%)
Hemolizat	25	565	4.35	7.7x10 ⁻³	1	100
2'-5' ADP- sepharose 4B afinite kolonu	5	0.111	1.95	17.57	2281.82	44.83



Şekil 2. İnsan eritrositlerinden izole edilen GR'nin % Aktivite- [I] grafikleri

Çizelge 2. İnsan eritrositlerinden izole edilen GR'nin tiyazol türevi bileşiklerle inhibisyon çalışması sonuçları (IC₅₀ ve K_i değerleri, inhibisyon türleri)

Bileşik Numarası	CAS Numarası	Tiyazol türevi	IC ₅₀ (µM)	K _i (µM)	İnhibisyon türü
1	105512-80-9	2-amino-4-(2,4-diflorofenil) tiyazol	0,64	0,006±0,0004	Yarışmalı
2	2103-94-8	2-amino-4-(4-bromofenil)tiyazol	3,69	0,33±0,11	Yarışmasız
3	30709-67-2	2-amino-5-metil-4-feniltiyazol	42,8	63,61±0,33	Yarışmasız
4	87999-04-0	2-amino-4-(5,6,7,8-tetrahidro-2-naftil)tiyazol	0,91	0,905±0,073	Yarışmasız
5	2103-99-3	2-amino-4-(4-klorofenil)tiyazol	0,63	0,89±0,47	Yarışmasız
6	175135-32-7	4-(3,4-diflorofenil)-1,3-tiyazol-2-amino	21	97,44	Yarışmasız



Şekil 8. K_i ve inhibisyon tipinin belirlenmesi için üç farklı bileşik konsantrasyonu kullanan tiyazol türevlerinin Lineweaver-Burk grafiği

4. Tartışma ve Sonuç

Birçok ilaç ve kimyasal madde enzimlerin yapısını etkiler, belirli bir enzimin aktivitesini durdurur veya artırır. Günümüzde kullanılan terapötik olarak kullanılan aktif maddelerin önemli bir kısmını enzim inhibitörleri olarak işlev gören ilaçlar oluşturmaktadır. Bu nedenle, tıbbi olarak aktif bileşiklerin metabolik enzimler üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ilaç tasarım çalışmaları için çok önemlidir.

Çalışmamızda 1 numaralı bileşiğin yarışmalı inhibisyon gösterdiği, K_i değerinin ise 0,006 μM tespit edilmiştir. Diğer inhibitörler yarışmasız inhibisyon sergilemiştir, GR'nin aktif bölgesinin dışında bir yere bağlanan bu inhibitörlerden en iyi inhibisyonu 2 numaralı bileşik 0,33 μM K_i değeri ile sergilemiştir. Çalışmada elde edilen tüm sonuçlar μM seviyesindedir, bu nedenle 6 tiyazol türevinin de ilaç tasarım çalışmaları için potansiyel oluşturabileceği düşünülmektedir.

Oksidatif stres, serbest radikallerin ve oksidanların aşırı üretimi ile vücutta homeostaziye neden olur ve ciddi dengesizliklere yol açar. Kronik hiperglisemi veya ketozis atakları, aşırı besin alımı ve uyku bozukluğu gibi farklı yaşam tarzlarından ve hastalık durumlarından kaynaklanır (Demir 2020). Antioksidanlar ve oksidanlar arasındaki dengesizlik lipidleri, DNA'yı ve proteinleri bozar ve bu da hücre ölümüne ve hücrelerin fizyolojik işlev bozukluğuna neden olur. Oksidatif stresin, Alzheimer ve epilepsi gibi nörodejeneratif bir hastalık olan kardiyovasküler hastalıkta da çok önemli katkı maddesi olduğu düşünülmektedir (Işık vd. 2015, Demir vd. 2016, Taşlımı vd. 2018).

Enzimatik savunma, DNA onarım enzimleri glutasyon redüktaz, glutasyon S-transferaz, aldo-ketoreduktaz, katalaz, glutasyon peroksidaz ve süperoksit dismutaz gibi bir dizi enzim sistemi tarafından sağlanmaktadır (Alım vd. 2019). NADPH varlığında GR, oksitlenmiş glutasyonun indirgenmesini katalize eder. İndirgenmiş glutasyon, hücre içi proteinlerin tiyol gruplarının korunmasında, ksenobiyotiklerin detoksifikasyonunda, oksidatif olayların önlenmesinde, H_2O_2 ve diğer organik peroksitlerin temizlenmesinde kullanılır (Erat vd. 2005).

Bu çalışmada incelenen tiyazol türevlerinin çok düşük konsantrasyonlarda (μM) GR üzerinde güçlü inhibitör etkisi gösterdiği tespit edilmiştir. En güçlü inhibitör etkisi 1 numaralı bileşikte, en düşük inhibitör etkisi ise 6 numaralı bileşikte görülmüştür (Çizelge 2).

İlaçlar ve çeşitli kimyasalların GR inhibisyonu hakkında çeşitli raporlar bulunmaktadır. GR üzerine etkisi araştırılan 5 farklı maddenin (metotreksat, dakarbazin, pantoprazol sodyum, 5-florourasil tiyokolşikosid ve olanzapin) inhibitör etkisi gösterdiği, en güçlü inhibisyon etkisini dakarbazinin gösterdiği bildirilmiştir (Akkemik vd. 2011). Schiff bazı türevlerinin ekmekek mayasından elde edilen GR üzerindeki etkilerini incelediği çalışmada bu bileşiklerin etkili inhibisyon profilleri olduğu gösterilmiş (Balaydın vd. 2018). Anti-epileptik ilaçların GR aktivitesi üzerine etkilerinin incelendiği çalışmada bileşiklerin insan eritrositlerinden saflaştırılmış GR'ye karşı K_i değerleri sıralamasının fenitoin (0.15 ± 0.03 mM) > gabapentin (0.19 ± 0.05 mM) > primidon (5.74 ± 1.14 mM) olduğu rapor edilmiş, fenitoin ve gabapentinin yarışmalı inhibisyon etkisi gösterdiği, primidon'un yarışmalı olmayan inhibisyon gösterdiği bulunmuş, aktif bölgenin amino asitleri ile etkileşime girebileceği belirtilmiştir (Demir 2020). Doğal olarak oluşan izotiyosiyanatları umut verici GR inhibitörleri olarak değerlendiren çalışmada inhibisyon etki mekanizmaları aydınlatılmış, benzil izotiyosiyanat (BITC) ve fenetil izotiyosiyanatın (PEITC), maya GR'sini (γGR) ve insan GR'sini ($h\text{GR}$) zamana ve konsantrasyona bağlı bir şekilde inhibe ettiği bulunmuştur. BITC'nin γGR 'ye karşı K_i değeri 259.87 mM olarak belirlenmiş, GR inhibisyonunun sadece NADPH varlığında meydana geldiği ve diyalizden sonra da devam ettiği rapor edilmiştir (Li *et al.* 2020).

Sonuç olarak GR enzimi insan eritrositlerinden saflaştırılmıştır. Daha sonra bu enzim aktivitesi üzerinde 2 nolu karbon atomunda amino grubu ihtiva eden tiyazol türevlerinin in vitro inhibisyon çalışmaları yapılmış. Tiyazol türevlerinin GR üzerinde etkili olabileceği düşünülebilir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular literatüre çeşitli katkılar sağlamaktadır. Ancak bu maddelerin tedavide kullanımından önce gen ekspresyonu ve in

vivo deney gibi daha ileri biyolojik çalışmalar yapılmalıdır.

5. Kaynaklar

- Akkemik, E., Şentürk, M., Özgeriş, F.B., Taşer, P., Çiftçi, M., 2011. In vitro effects of some drugs on human erythrocyte glutathione reductase. *Turkish Journal of Medical Sciences*, **41(2)**, 235-241.
- Akkemik, E., Güller, P., Bayındır, A., Budak, H., Çiftçi, M., 2012. Purification and characterization of glutathione S-transferase from turkey liver and inhibition effects of some metal ions on enzyme activity. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **34(3)**, 1382-6689.
- Alım, Z., Kılıç, D., Demir, Y., 2018. Some indazoles reduced the activity of human serum paraoxonase 1, an antioxidant enzyme: in vitro inhibition and molecular modeling studies. *Archives of Physiology and Biochemistry*, **125(5)**, 387-395.
- Balaydın, H.T., Özil, M., Şentürk, M., 2018. Synthesis and glutathione reductase inhibitory properties of 5-methyl-2,4-dihydro-3H-1,2,4-triazol-3-one's aryl Schiff base derivatives. *Archiv der Pharmazie*, e1800086.
- Chavan A. A. and Pai, N. R., 2007. Synthesis and biological activity of N-substituted-3-chloro-2-azetidinones. *Molecules*, **12(11)**, 2467-2477.
- Demir, Y., Oruç, E., Topal, A., 2016. Carbonic Anhydrase Activity Responses and Histopathological Changes in Gill and Liver Tissues after Acute Exposure to Chromium in Brown Trout Juveniles. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, **44(4)**, 515-523.
- Demir, Y., 2019. Purification of Glutathione Reductase from Human Erythrocytes: Inhibition Profile of Some Anti-Epileptic Drugs. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **9(4)**, 2140-2147.
- Erat, M., Şakiroğlu, H., Çiftçi, M., 2005. Effects of some antibiotics on glutathione reductase activities from human erythrocytes in vitro and from rat erythrocytes in vivo. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, **20**, 69-74.
- Gajdoš, P., Magdolen, P., Zahradník, P., Foltínová, P., 2009. New conjugated benzothiazole-N-oxides: synthesis and biological activity. *Molecules*, **14(12)**, 5382-5388.
- Ghaemmaghami, S., May, B.C.H., Renslo, A.R., Prusiner, S.B., 2010. Discovery of 2-aminothiazoles as potent antiprion compounds. *Journal of Virology*, **84(7)**, 3408-3412.
- Gorczyński, M.J., Leal, R.M., Mooberry, S.L., Bushweller, J.H., Brown, M.L., 2004. Synthesis and evaluation of substituted 4-aryloxy- and 4-arylsulfanyl- phenyl-2-aminothiazoles as inhibitors of human breast cancer cell proliferation. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, **12(5)**, 1029-1036.
- Işık, M., Demir, Y., Kırıcı M., Demir, R., Şimşek F., Beydemir, Ş., 2015. Changes in the anti-oxidant system in adult epilepsy patients receiving anti-epileptic drugs. *Archives of Physiology and Biochemistry*, **121**, 97-102.
- Karabulut, H., Gülay, M.Ş., 2016. Serbest radikaller. *MAKÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **4(1)**, 50-59.
- Kaur, H., Kumar, S., Singh, I., Saxena K.K., Kumar, A., 2010. Synthesis, characterization and biological activity of various substituted benzothiazole derivatives. *Digest Journal of Nanomaterials & Biostructures*, **5(1)**, 67-76.
- Kayagil, I., Demirayak, S., 2009. Synthesis and anticancer activities of some thiazole derivatives. *Phosphorus, Sulfur and Silicon and the Related Elements*, **184(9)**, 2197-2207.
- Kesicki, E.A., Bailey, M.A., Ovechkina Y., Early, J.V., Alling, T., Bowman, J., Zuniga, E.S., Dalai, S., Kumar, N., Masquelin, T., Hipsking, P.A., Odingo, J.O., Parish, T., 2016. Synthesis and evaluation of the 2-aminothiazoles as anti-tubercular agents. *Plos One*, **11(5)**.
- Khalifa, M.E., 2018. Recent developments and biological activities of 2-aminothiazole derivatives. *Acta Chimica Slovenica*, **65(1)**, 1-22.
- Kumar, G.V.S., Rajendraprasad Y., Mallikarjuna, B.P., Chandrashekar, S.M., Kistayya, C., 2010. Synthesis of some novel 2-substituted-5-[isopropylthiazole] clubbed 1,2,4-triazole and 1,3,4-oxadiazoles as potential antimicrobial and antitubercular agents. *European Journal of Medicinal Chemistry*, **45(5)**, 2063-2074.
- Kumar, K., Sagar, S., Esau, L., Kaur, M., Kumar, V., 2012. Synthesis of novel 1H-1,2,3- triazole tethered C-5 substituted uracil-isatin conjugates and their

- cytotoxic evaluation. *European Journal of Medicinal Chemistry*, **58**, 153-159.
- Lia, X, Ni, M, Xu, X, Chen, W, 2020. Characterisation of naturally occurring isothiocyanates as glutathione reductase inhibitors. *Journal Of Enzyme Inhibition And Medicinal Chemistry*, **35(1)**, 1773–1780. <https://doi.org/10.1080/14756366.2020.1822828>.
- Lin, P., Hou, R., Wang, H., Kang, I., Chen, L., 2009. Efficient Synthesis of 2-Aminothiazoles and Fanetizole in Liquid PEG-400 at Ambient Conditions. *Journal of the Chinese Chemical Society*, **56(3)**, 455–458.
- Masoudi, N.A., Pfeleiderer, W., Pannecouque, C., 2014. Nitroimidazoles part 7. synthesis and anti-HIV activity of new 4- nitroimidazole derivatives. *Zeitschrift für Naturforschung B*, **67(8)**, 835–842.
- Nadeem, S., Arpana, R., Suroor A.K., Haque, S.E., Arshad, M.F., Ahmed, S., Ahsan, W., 2009. Synthesis and preliminary screening of benzothiazol-2-yl thiadiazole derivatives for anticonvulsant activity. *Acta Pharmaceutica*, **59(4)**, 441–451.
- Oh, C.H., Cho, H.W., Baek, D., Cho, J.H., 2002. Synthesis and antibacterial activity of 1 β -methyl-2-(5-substituted thiazole pyrrolidin-3-ylthio) carbapenem derivatives. *European Journal of Medicinal Chemistry*, **37**, 743–754.
- Priyanka, Neeraj, K.S., Keshari, K.J., 2010. Benzothiazole: the molecule of diverse biological activities. *International Journal of Current Pharmaceutical Research*, **2**, 1.
- Samadhiya, P., Sharma, R., Srivastava, S.K., Srivastava, S.D., 2012. Synthesis of 2-oxoazetidine derivatives of 2-aminothiazole and their biological activity. *Journal of the Serbian Chemical Society*, **77(5)**, 599–605.
- Siddiqui, H.L., Zia-Ur-Rehman, M., Ahmad, N., Weaver, G.W., Lucas, P.D., 2007. Synthesis and antibacterial activity of bis[2- amino-4-phenyl-5-thiazolyl] disulfides. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, **55(7)**, 1014–1017.
- Singh, H. P., Sharma, C. S. Gautam, C. P., 2009. Synthesis and pharmacological screening of some novel 2-arylhydrazino and 2-aryloxy-pyrimido [2,1-b] benzothiazole derivatives. *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, **4(4)**, 222–228.
- Sonwane, S.K., and Srivastava, S.D., 2008. Synthesis and biological significance of 2-amino-4-phenyl-1,3-thiazole derivatives. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India*, **78(2)**, 129–136.
- Srivastava, S.K., Yadav, R., Srivastava, S.D., 2004. Synthesis and biological activity of 4-oxothiazolidines and their 5-arylidenes. *Indian Journal of Chemistry*, **43B(2)**, 399–405.
- Taslimi, P., Aslan, H.E., Demir, Y., Oztaskin, N., Maraş, A., Gülçin, İ., Beydemir, S., Göksu, S., 2018. Diarylmethanon, bromophenol and diarylmethane compounds: Discovery of potent aldose reductase, α -amylase and α -glycosidase inhibitors as new therapeutic approach in diabetes and functional hyperglycemia. *International Journal of Biological Macromolecules*, **119**, 857-863.
- Tapia, R.A., Prieto, Y., Pautet F., Walchshofer, N., Fillion, H., Fenet B., Sarciron, M.E., 2003. Synthesis and antiprotozoal evaluation of benzothiazolopyrroloquinolones, analogues of kuanoniamine A. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, **11(16)**, 3407–3412.

Energies with Constant Mean Curvature of Tubular Surfaces by Bishop Frame

Filiz ERTEM KAYA¹¹Nigde Ömer Halisdemir University, Faculty of Science-Art, Department of Mathematics, Nigde/TURKEY

Sorumlu Yazar e-posta: fertem@ohu.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1538-9154>

Geliş Tarihi: 01.08.2021

Kabul Tarihi: 28.12.2021

KeywordsTubular surfaces;
Curvature; Bishop
frame; Willmore
energy**Abstract**

In this paper Euclidean metric induced by $\mu : M \rightarrow G$ be the mean curvature of Tubular surfaces by Bishop frame are computed and the curvatures in differential geometry that are so important for computing the Helfrich and Willmore energy of the tubular surfaces by bishop frame and giving some theorems are seen. Even though these calculations are very important to prove that the curvatures are very important in differential geometry, in actually these calculations are clearly important as mathematical physics.

Sabit Ortalama Eğrilikli Bishop Çatılı Tubular Yüzeylerin Enerjileri

Öz**Anahtar kelimeler**Tubular yüzeyler;
Eğrilikler; Bishop çatısı;
Willmore enerji

Bu makalede $\mu : M \rightarrow G$ Öklid metriklili Bishop çatılı Tubular yüzeylerin Helfrich ve Willmore enerjileri hesaplandı and Bishop çatılı Tubular yüzeylerin Helfrich ve Willmore enerjilerinin bulunmasında ve bazı teoremlerin verilmesinde diferensiyel geometrideki eğriliklerinin ne denli önemli olduğu görüldü. Bu hesaplamalar her ne kadar diferensiyel geometri için eğriliklerin önemli olduğunu ispatlasa da aslında bu hesaplamalar matematiksel fizik için de önem arz etmektedir.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Introduction

Energy is the most important thing for people, animals, plant and all living things. For example the sun is the source of the energy. It is naturel energy for the world. But the other type of energies are artificial. these are very special for physicians and mathematicians.

For $a, b \geq 0$ and $c \in R$, the Helfrich energy of a surface Σ is

$$\begin{aligned} E(\Sigma) &= \int_{\Sigma} a + bH^2 + cK ds \\ &= aA(\Sigma) + \int_{\Sigma} bH^2 + cK ds \end{aligned} \quad (1)$$

The Willmore energy is found by Willmore as follows;

The Willmore energy $W(M)$ of M is given by

$$W(M) = \int_M H^2 dA \quad (2)$$

(Gray 2005, Willmore 1959, Willmore 1965).

In this paper we use Helfrich energy and Willmore energy formulae and we calculate the Helfrich energy and Willmore energy of the Tubular Surfaces by Bishop frame.

2. Preliminaries

In differential geometry a canal surface is defined as the envelope of a family of some special spheres that have specific characters about their curvatures (Kişi 2017).

If the radius function is constant, then the canal surface is called a tube or tubular surface (Doğan and Yaylı 2011, Kişi 2017).

Let α be a unit speed curve in Euclidean space. If $N_2(s)$ orthogonal to both $T(s)$ and $N_1(s)$, then

$N_2(s) = T(s) \times N_1(s)$ (positively oriented-we say about these according to the right hand rule or the clockwise in physics) according to this it means $\{T(s), N_1(s), N_2(s)\}$ an orthonormal frame is called Bishop frame. All we have the following formulaes from the references (Doğan and Yaylı 2011, Doğan and Yaylı 2012):

$$T'(s) = k_1 N_1 + k_2 N_2 \tag{3}$$

$$N_1' = -k_1 T \tag{4}$$

$$N_2' = -k_2 N_2 \tag{5}$$

$$k_1 = \kappa \cos \alpha \tag{6}$$

$$k_2 = \kappa \sin \alpha \tag{7}$$

$$\tau = \gamma' \tag{8}$$

3. Mean and Gauss Curvatures of a Canal Surface

The mean H and Gauss K curvatures of tube surface are computed in (Doğan and Yaylı 2011) by 3 situation. These are,

(i) If the center curve is given with Frenet frame, then the tube is around the center curve α becomes $Y(s, \theta) = \alpha(s) + r(\cos \theta N + \sin \theta B)$, using derivative formulae of this and

$$K = \frac{-\kappa \cos \theta}{r(1 - r\kappa \cos \theta)}, \tag{9}$$

$$H = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{r} + \kappa r \right] \tag{10}$$

are obtained (Doğan and Yaylı 2011, Doğan and Yaylı 2012).

(ii) If the center curve is given with Bishop frame, then the tube around the center curve α becomes $Z(s, \theta) = \alpha(s) + r(\cos \theta N_1 + \sin \theta N_2)$, using derivative formulae of this and

$$K = \frac{-k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta}{r(r(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta) - 1)} \tag{11}$$

$$H = rK - \frac{K}{2(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta)} \tag{12}$$

are obtained (Doğan and Yaylı 2011, Doğan and Yaylı 2012).

(iii) Let W be a regular surface with a unit normal V and the center curve $\alpha : I \subset R \rightarrow W$ be a unit speed. In case the tube around the center curve α becomes $X(s, \theta) = \alpha(s) + r(\cos \theta P + \sin \theta S)$ using derivative formulae of this (P is normal and S is the binormal of the curve)

$$K = \frac{-k_g \cos \theta + k_n \sin \theta}{r(1 - rk_g \cos \theta + rk_n \sin \theta)} \tag{13}$$

$$H = \frac{2r(k_g \cos \theta + k_n \sin \theta) - 1}{2r(rk_g \cos \theta + rk_n \sin \theta - 1)} \tag{14}$$

are obtained (Doğan and Yaylı 2011, Doğan and Yaylı 2012).

From (Doğan and Yaylı 2011), let the center curve be a spherical curve with order α^2 . According to (Bishop 1975), if a space curve is a spherical curve, then the pair (k_1, k_2) lies on a line $gx + hy + 1 = 0$. For the s -parameter curves $g = \cos \theta$ and $h = \sin \theta$,

$$k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta + 1 = 0 \tag{15}$$

So

$$K = \frac{-k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta}{r(r(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta) - 1)} = \frac{1}{r(r+1)} \tag{16}$$

$$H = rK - \frac{K}{2(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta)} = \frac{2r+1}{2r(r+1)} \tag{17}$$

(Liu 2005, Doğan and Yaylı 2011).

4. Willmore Function on Curvatures of Tubular Surfaces

In 1965 Willmore (Willmore 1959, Willmore 1965) proposed the study of the functional as follows: By using (2) we compute the Willmore of the Tube surface for the situation (i), so we obtain theorem as below:

Theorem 4.1. In this notation, the Willmore energy $W_i(Y_{tube})$ of M is given by Willmore energy of the Tube surface for the situation (i) as follows:

$$W_i(Y_{tube}) = \int_{Y_{tube}} \left[\frac{1}{4r^2} - \frac{1}{2r} \frac{\kappa \cos \theta}{(1 - r\kappa \cos \theta)} + \frac{\kappa^2 \cos^2 \theta}{4(1 - r\kappa \cos \theta)^2} \right] dA \tag{18}$$

Proof. Let the mean H curvature of the tube surface and $W_i(Y_{tube})$ Willmore energy of the tube surface for the situation (i), so we take

$$\begin{aligned} W_i(Y_{tube}) &= \int_{Y_{tube}} H^2 dA \\ &= \int_{Y_{tube}} \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{r} + \kappa r \right] \right]^2 dA \\ &= \int_{Y_{tube}} \frac{1}{4} \left[\frac{1}{r} + \frac{-\kappa \cos \theta}{r(1 - r\kappa \cos \theta)} r \right]^2 dA \\ &= \int_{Y_{tube}} \left[\frac{1}{4r^2} + \frac{1}{4} \frac{2}{r} \frac{-\kappa \cos \theta}{r(1 - r\kappa \cos \theta)} r + \frac{-\kappa^2 \cos^2 \theta}{4(1 - r\kappa \cos \theta)^2} \right] dA \\ &= \int_{Y_{tube}} \left[\frac{1}{4r^2} - \frac{1}{2r} \frac{\kappa \cos \theta}{(1 - r\kappa \cos \theta)} + \frac{\kappa^2 \cos^2 \theta}{4(1 - r\kappa \cos \theta)^2} \right] dA \end{aligned} \tag{19}$$

This is the proof of the theorem.

Theorem 4.2. Let take H the mean curvature of the Tube Surface. Thus we can obtain the Willmore energy of the Tube surface for the situation (ii) on the side:

$$W_{ii}(Z_{tube}) = \int_{Z_{tube}} \left[\frac{k_1^2 \cos^2 \theta - k_1 k_2 \sin 2\theta + k_2^2 \sin^2 \theta}{[r(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta) - 1]^2} - r \frac{\left[\frac{-k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta}{r[r(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta) - 1]} \right]^2}{k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta} + \frac{\left[\frac{-k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta}{r[r(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta) - 1]} \right]^2}{2(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta)^2} \right] dA \tag{20}$$

Proof. Let substituting (17) in (2), so we obtain,

$$\begin{aligned} W_{ii}(Z_{tube}) &= \int_M H^2 dA \\ &= \int_M \left[rK - \frac{K}{2(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta)} \right]^2 dA \\ &= \int_{Z_{tube}} \left[r^2 \frac{\left[\frac{-k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta}{r[r(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta) - 1]} \right]^2}{[r(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta) - 1]^2} - r \frac{\left[\frac{-k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta}{r[r(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta) - 1]} \right]^2}{k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta} + \frac{\left[\frac{-k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta}{r[r(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta) - 1]} \right]^2}{2(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta)^2} \right] dA \\ &= \int_{Z_{tube}} \left[r^2 \frac{k_1^2 \cos^2 \theta - k_1 k_2 \sin 2\theta + k_2^2 \sin^2 \theta}{r^2 [r(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta) - 1]^2} - r \frac{\left[\frac{-k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta}{r[r(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta) - 1]} \right]^2}{k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta} + \frac{\left[\frac{-k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta}{r[r(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta) - 1]} \right]^2}{2(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta)^2} \right] dA \end{aligned}$$

$$= \int_{Z_{tube}} \left[\begin{aligned} & \frac{k_1^2 \cos^2 \theta - k_1 k_2 \sin 2\theta + k_2^2 \sin^2 \theta}{[r(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta) - 1]^2} \\ & - r \frac{\left[\frac{-k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta}{r[r(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta) - 1]} \right]^2}{k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta} \\ & + \frac{\left[\frac{-k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta}{r[r(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta) - 1]} \right]^2}{2(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta)^2} \end{aligned} \right] dA$$

This completes the proof and we have (20).

Corollary 4.3. In addition we can write

$$\begin{aligned} W_{ii}(X_{tube}) &= \int_M H^2 dA \\ &= \int_{X_{tube}} \left[\frac{2r(k_g \cos \theta + k_n \sin \theta) - 1}{2r(rk_g \cos \theta + rk_n \sin \theta - 1)} \right]^2 dA \end{aligned} \tag{21}$$

Corollary 4.4. If we compute the Willmore energy for , then we obtain

$$\begin{aligned} W_{ii}(S_{tube}) &= \int_{S_{tube}} H^2 dA \\ &= \int_{S_{tube}} \frac{(2r + 1)^2}{4r^2(r + 1)^2} dA \end{aligned} \tag{22}$$

Since r is constant, Willmore energy of S_{tube} is taken as

$$\begin{aligned} W_{ii}(S_{tube}) &= \frac{(2r + 1)^2}{4r^2(r + 1)^2} \int_{S_{tube}} dA \\ &= \frac{(2r + 1)^2}{4r^2(r + 1)^2} A + c \end{aligned} \tag{23}$$

5. Helfrich Energy for Tube Surfaces

Defintion 5.1. For $a, b \geq 0$ and $c \in R$, From (Karsten 2012) we can give the Helfrich energy of a surface Σ is

$$\begin{aligned} E(\Sigma) &= \int_{\Sigma} a + bH^2 + cKds \\ &= aA(\Sigma) + \int_{\Sigma} bH^2 + cKds \end{aligned} \tag{24}$$

Now let compute the Helfrich energies for tube surfaces according to the 3 situation

Theorem 5.1. If we compute the Willmore energy $E_i(Y_{tube})$ of M is given by Helfrichenergy of the Tube surfaces for the situation (i), then we take as follows:

$$\begin{aligned} E_i(Y_{tube}) &= aA(Y_{tube}) + \\ & \int_E b \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{r} + Kr \right] \right]^2 + c \frac{-\kappa \cos \theta}{r(1 - r\kappa \cos \theta)} ds \end{aligned} \tag{25}$$

Proof. Let take the H and K be the mean and gauss curvature of the Tube surfaces by Bishop frame. The Helfrich energy of the Tube surface $E_i(Y_{tube})$ of M is given by for the situation (i), so we have

$$\begin{aligned} E(Y_{tube}) &= aA(Y_{tube}) + \int_{Y_{tube}} bH^2 + cKds \\ E_i(Y_{tube}) &= aA(Y_{tube}) + \\ & \int_{Y_{tube}} b \left[\frac{1}{2} \left[\frac{1}{r} + Kr \right] \right]^2 + c \frac{-\kappa \cos \theta}{r(1 - r\kappa \cos \theta)} ds \end{aligned}$$

It is the proof of the theorem and we obtain (25).

Corollary 5.1. Let calculate the Helfrich energy of the Tube surface by Bishop frame for situation (ii). So we have

$$E_i(Z_{tube}) = aA(Z_{tube}) + \int_{Z_{tube}} b \left[rK - \frac{K}{2(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta)} \right]^2 + c \frac{-k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta}{r[k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta] - 1} ds \quad (26)$$

Corollary 5.2. Let calculate the Helfrich energy of the Tube surface by Bishop frame for situation (iii).

$$E_i(X_{tube}) = aA(X_{tube}) + \text{So we obtain } \int_{X_{tube}} b \left[rK - \frac{K}{2(k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta)} \right]^2 + c \frac{-k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta}{r[k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta] - 1} ds \quad (27)$$

Corollary 5.3. For $k_1 \cos \theta + k_2 \sin \theta + 1 = 0$,

If r is constant, then we obtain, the Helfrich energy is written as;

$$E_i(S_{tube}) = aA(S_{tube}) + \int_{S_{tube}} b \frac{(2r+1)^2}{4r^2(r+1)^2} + c \frac{1}{r(r+1)} ds \quad (28)$$

Exercise 5.4. Let compute the Willmore energy of the tube surface for the situation (i), with the curve $\alpha(t) = (t \cos t, t \sin t, t)$ at the point .

Solution. Firstly we have to find the curvatures of the curve. So, we obtain

$$\alpha'(t) = (\cos t - \sin t, \sin t + \cos t, 1) \\ \alpha''(t) = (-2 \sin t - t \cos t, 2 \cos t - t \sin t, 0) \\ \alpha'''(t) = (-3 \cos t + t \sin t, -3 \sin t - t \cos t, 0) \\ \text{and}$$

$$\|\alpha'(t)\| = \sqrt{2+t^2} .$$

At the point $t = 0$, we can find values of the differentials

of the curve α as follows:

$$\alpha'(0) = (1,0,1), \\ \alpha''(0) = (0,2,0), \\ \alpha'''(0) = (-3,0,0).$$

So, we have the values f the Frenet frame elements

$$T(0) = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}, 0, \frac{1}{\sqrt{2}}\right), \\ B(0) = \left(-\frac{1}{\sqrt{2}}, 0, \frac{1}{\sqrt{2}}\right), \\ N(0) = (0, -1, 0).$$

After these calculations we obtain the curvatures of the curve as follows:

$$K(0) = 1 \\ \tau(0) = \frac{3}{4}$$

Willmore energy of the tube surface for the situation (i) can be obtained, so we have

$$W_i(Y_{tube}) = \int_{Y_{tube}} \left[\frac{1}{4r^2} - \frac{1}{2r} \frac{\kappa \cos \theta}{(1 - r\kappa \cos \theta)} + \frac{\kappa^2 \cos^2 \theta}{4(1 - r\kappa \cos \theta)^2} \right] dA$$

$$= \int_{Y_{tube}} \left[\frac{1}{4r^2} - \frac{1}{2r} \frac{1 \cos \theta}{(1 - r1 \cos \theta)} + \frac{1^2 \cos^2 \theta}{4(1 - r1 \cos \theta)^2} \right] dA \\ = \int_{Y_{tube}} \left[\frac{1}{4r^2} - \frac{1}{2r} \frac{\cos \theta}{(1 - r \cos \theta)} + \frac{\cos^2 \theta}{4(1 - r \cos \theta)^2} \right] dA .$$

Special Case:

If radius $r = 1$ and the angle $\theta = 30$, then Willmore energy of the tube surface for the situation (i) can be obtained as follows:

$$W_i(Y_{tube}) = -\frac{7}{4} \int_{Y_{tube}} dA \\ W_i(Y_{tube}) = -\frac{7}{4} A|_{Y_{tube}}$$

6. Conclusions

In this work we study and compute the Helfrich and Willmore energies of the Tubular surfaces We obtain the mean and the Gauss curvatures are so important for calculating the energies of the tubular surfaces by Bishop frame.

If we compare the energy of the tube surface with Bishop frame and energy of the the tube surface

with Frenet frame, then we obtain that the energy of tube surface with Bishop frame is less than the energy of the tube surface with Frenet frame.

Because K and H of the tube surface with Bishop frame is less than K and H of the tube surface with Frenet frame.

7. References

- Bishop, R. L., 1975. There is no more than one way to frame a curve, *American Mathematical Monthly*, **82** (3), 246-251.
- Doğan, F. and Yaylı, Y., 2011. On the tubular surface with Bishop frame, *Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. SeriesA1*, **60** (1), 59-69.
- Doğan, F. 2012. A note on Tubes, *International Journal of physical and Mathematical Sciences*, **3** (1), 98-105.
- Doğan, F. and Yaylı, Y. 2012. Tubes with darbox frame, *Int J. Contemp. Math. Sciences*, **7** (16), 751-758.
- Gray, A., 2005. Modern Differential Geometry of Curves and Surfaces with Matematica, Third Edition by Elsa Abbana and Simon Salamon, 821-927.
- Karsten, G.-B., 2012. Triply periodic Minimal and Constant Mean curvature Surfaces, *Interfaces Focus*; **2**, 582-588.
- Kişi İ., Öztürk, G., 2017. A new approach to canal surface with parallel transport frame, *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*, **14**(2), 1750026.
- Liu, Bing, Sciabassi, R.J., Liu, Qiang, Kassam, A., Li, ChingChung, Sun, Mingui, 2005. Detection of region of interest in neurosurgical video used for telemedicine, *2005 IEEE International Conference on Information Acquisition*.
- Willmore, T. J., 1959. Introduction to Differential Geometry, Clarendon, Oxford, 128.
- Willmore, T. J., 1965. Note on embedded surfaces, *An. Sti. Univ. Al. Cusa Iasi, N. Ser., Sect. Ia Mat.* **11B**, 493-496.

Sezgisel Bulanık WASPAS Yöntemi ve Depo Yeri Seçimi Problemi

Nihan TIRMIKÇIOĞLU¹

¹ Kırklareli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Kırklareli.

e-posta: ntirmik@klu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7646-5996>

Geliş Tarihi: 01.06.2021

Kabul Tarihi: 16.12.2021

Öz

Rekabetin yoğun olduğu günümüz iş dünyasında şirketler varlıklarını sürdürebilmek ve gelişebilmek için lojistik sistemlerinin optimizasyonu üzerinde yoğunlaşarak tedarik zinciri performansını güçlü tutmak durumundadırlar. Depolar, yerel veya küresel pazarda, bir tedarik zinciri için stratejik önemi büyük noktalardır. Tedarik zincirleri birbirleriyle ürün teslim süresi ve genel ürün maliyetleri hususunda rekabet halindedirler. Depo konumu, tedarik zinciri ağının verimliliğini ve hızını belirleyen en önemli faktördür. Bu sebeple bir firma için depo yeri seçimi önemli bir yatırım kararıdır. Bu seçim aynı zamanda nicel ve nitel kriterleri birlikte içeren bir çok kriterli karar verme problemi olarak değerlendirilebilir. Stratejik bir depo yeri seçiminde seçenekler karar vericiler tarafından belirlenen kriterler altında değerlendirilirken kullanılan ifadelerin belirsizlik içerebilmesi nedeniyle problem, bulanık ortamda ele alınarak çözüme yönelik bir karar destek modeli önerilebilir. Çalışmamızda, yeni bir yaklaşım olarak, bir bulanık çok kriterli karar verme yöntemi olan bulanık WASPAS yöntemi sezgisel bulanık kümelerde geliştirilmiş olup bir tekstil firması için beş adet seçenek arasından en uygun depo yeri seçimi, karar vericilerin önerileri ve literatür taraması ile belirlenen beş kriter altında bir bulanık çok kriterli karar verme problemi olarak ele alınarak uygulanmıştır.

Anahtar kelimeler

Çok Kriterli Karar Verme;
Bulanık Kümeler;
Sezgisel Bulanık Kümeler;
Sezgisel Bulanık WASPAS;
SB-WASPAS

Intuitionistic Fuzzy WASPAS and Warehouse Location Selection Problem

Abstract

In today's business world, where the competition is intense, companies have to keep their supply chain performance strong by focusing on the optimization of logistics systems in order to survive and develop. Warehouses have a great strategic importance for a supply chain network in the local or global market. Supply chains compete with each other over product delivery time and overall product costs. Warehouse location is the most important factor determining the efficiency and speed of the supply chain network. For this reason, warehouse location selection is an important investment decision for a company. This selection can also be considered as a multi-criteria decision problem that includes both quantitative and qualitative criteria. As the expressions used by the decision makers in the selection of a strategic warehouse location to evaluate the criteria may contain uncertainty, the problem can be considered in the fuzzy environment and a decision support model can be proposed to find the best alternative. In our study, as a novel approach, the fuzzy WASPAS method which is a fuzzy multi-criteria decision making method frequently used, is extended to intuitionistic fuzzy sets and applied to the selection of the most appropriate warehouse location among five options for a textile company, considering five criteria determined by decision-makers' suggestions and the literature review.

Keywords

Multi Criteria Decision Making;
Fuzzy Sets;
Intuitionistic Fuzzy Sets;
Intuitionistic Fuzzy WASPAS;
IF WASPAS

1. Giriş

Depo, hammadde ile satış öncesi dağılımdan önce ürünlerin tutuldukları büyük bir yapıdır. Genel uygulamada üretilen mallar, piyasadaki taleple doğru orantılı olarak satıcılara yönlendirilmeden önce üretim birimi tarafından depolara gönderilir. Bir firmanın, gelen talepleri sorunsuzca karşılayabilmek için ürünlerini muhafaza ettiği uygun bir depo alanı şarttır.

Depolama süreçleri tedarik zincirlerinde mal akış hızının artmasına önemli ölçüde katkıda bulunur. Her firma, ekonomik hedeflerini gerçekleştirmek için tedarik zincirini en verimli şekilde yönetmeye çalışır. Tedarik zinciri yönetimi, malların akışı, ne kadar üretileceği, hangi aşamalarda ne düzeyde planlama yapılacağı hususlarının yanı sıra her aşamada bu malların nasıl ve ne kadar depolanacağını da dikkate alır. Günümüzde depolama, etkili küresel tedarik zincir ağı için en önemli faktör haline gelmiştir. Esneklik, zamanında ya da daha kısa zamanda teslimat, kurumsal kârlılık gibi tedarik zincirinin farklı hedefleri depolama sayesinde kolaylıkla gerçekleşir. Bir deponun optimum konumu, düşük maliyet ve yüksek kâr prensipli tedarik zincirinin başarılı olmasını sağlar. Bu durumda, depo yeri için mevcut seçenekler arasından en uygun olanını belirlemek bir firma için büyük önem arz eder. Alan büyüklüğü ve yeterliliği, müşteri potansiyeli, tedarikçilere ulaşım, kilit pazarlarla bağlantılar, otoyol, tren ve havalimanlarına yakınlık, kalifiye iş gücü gibi faktörler yaygın olarak bir depo yeri araştırması için dikkate alınmaktadır. Yanlış bir kuruluş yeri seçim kararı ticari bir firma için ciddi kayıplara sebep olabilir. Bir depo, firmanın tedarik zincirinin verimliliğini artıran ve ürün sevkiyat sürecinde gecikmeye veya üretim maliyetinin artmasına neden olmayan bir konumda olmalıdır. Deposunu talebin yoğun olduğu bölgeye yakın kuran firma müşterilerine zamanında ulaşır ve herhangi bir tedarik sıkıntısı yaşamaz.

Literatürde depo yeri seçimi ile ilgili pek çok çalışmaya rastlamak mümkündür. Çok kriterli karar verme problemi olarak ele alınıp karar verme yöntemleri kullanılarak ideal depo yerinin belirlendiği çalışmalar mevcuttur. Korpela ve

Tuominen (1996) tarafından yapılan çalışmada Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak bir depo yeri seçimine yönelik çözüm önerilmiştir. Chen (2009), karar verme modelinde ticari potansiyel, ulaşım imkanları, sosyal faktörler ve arazi özellikleri kriterlerini belirleyerek Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve ağırlık merkezi yöntemini kullanarak bir karar destek modeli geliştirmiştir. Demirel vd. (2010), lojistik sektöründe bir depo yeri seçimi için maliyet, iş gücü, alt yapı, pazar özellikleri ve makro çevre kriterleri altında Choquet Integral Yöntemi'ni kullanmıştır. Singh vd. (2018), alt yapı, siyasi faktörler ve piyasa koşulları kriterlerini belirleyerek Bulanık Analitik Hiyerarşik Süreci ve bulanık TOPSIS yöntemleri ile en uygun depo yerini araştırmıştır. Jacyna-Golda vd. (2017), maliyet, ulaşım ve hammaddeye yakınlık kriterleriyle depo yeri seçim problemine genetik algoritmayı uygulamıştır. Ofoğlu vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada afet durumunda bir depo yeri seçim modeli önerilmiş ve SAW, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri aday depo yerlerinin arazi özellikleri ve ulaşım noktalarına uzaklıkları değerlendirilerek uygulanmıştır. Özbek ve Erol (2016), depo yeri seçimini bir çok kriterli karar verme problemi şeklinde ele alarak AHP, Basit Ağırlıklı Toplam, COPRAS ve MOORA yöntemlerini kullanmışlar ve elde edilen sonuçları karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir. Aktepe ve Ersöz (2014) bir döküm fabrikası için ticari potansiyel ve maliyet kriterleri altında AHP, VIKOR ve MOORA yöntemlerini; Akyüz ve Soba (2013) tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir fabrika için depo yeri konumunun fiziksel ve ekonomik özelliklerini değerlendirerek ELECTRE yöntemini, Kabadayı ve Esen(2021) bir 4.parti lojistik firma için (4PL) maliyet, konum özelliği ve ulaşım kolaylığı kriterleri ile Gri TOPSIS yöntemini kullanarak birer karar destek modeli önermişlerdir. Jayant (2015) bir üretim firması için bütünleşik VIKOR, TOPSIS ve Gri İlişkisel Analiz yöntemlerini kullanarak depo yeri seçim probleminde maliyet, stok kapasitesi, müşteri ve tedarikçilere uzaklık kriterlerini dikkate almıştır. Son dönemde yapılan çalışmalarda bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerine de rastlamak mümkündür. Karmaker ve Saha(2015) hız, ulaşım imkanları, maliyetler, depo alan büyüklüğü, işgücü özellikleri ve üreticilere

yakınlık kriterlerini göz önünde bulundurarak bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerini uygulamıştır. Sağnak (2020), perakende sektöründe depo yeri seçimi için modelde değerlendirme kriterlerini maliyet, fiziksel özellikler, güvenlik ve vergi politikası olarak belirlemiş ve bütünlük AHP-bulanık TODIM yöntemlerini kullanarak bir karar modeli önermiştir. Çalık(2020), Aralık Tip-2 Bulanık AHP ve Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS yöntemlerini depo yeri seçim karar modelinde kullanmış ve fiziksel özellikler, konum ve maliyet kriterlerini dikkate almıştır.

Bu çalışmada tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir firma için depo yeri seçimi çok kriterli karar verme problemi olarak ele alınıp modellenmekte ve alternatifler arasında en uygun olanının belirlenmesine ilişkin bir karar destek modeli önerilmektedir. Depo yeri seçimi için her firmanın karar süreci finansal yapısı, pazarlama stratejisi, ürün çeşitliliği gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Uzun vadeli bir yatırım kararı olması nedeniyle, amaç ve hedeflere uygun olarak belirlenen kriterler altında seçeneklerin titizlikle değerlendirilerek en uygun yerin belirlenmesi gerekir.

Karar destek modellerinde, karar vericilerin yaptıkları değerlendirmelerde kullanabilecekleri ifadeler biraz, daha, orta gibi belirsizlik gösteren niteleyiciler içerebileceğinden, klasik karar verme yöntemlerinde kullanılan sayısal ölçekler yetersiz kalabilir. Bulanık kümeler teorisi bu tür değerlendirmeleri matematiksel olarak anlamlandırabilmeye olanak sağlar. Bu çalışma, literatürde de çok kriterli karar verme problemi olarak geniş yer bulan depo yeri seçimi için yeni bir yaklaşım önermektedir. Bir çok kriterli karar verme tekniği olan WASPAS yöntemi ilk kez depo yeri seçimi problemi için sezgisel bulanık kümelere geliştirilmekte ve bir karar destek modeli ortaya konmaktadır. Yapılan çalışmanın bilimsel katkısının yanında karar verme problemlerinde alternatif bir yöntem olarak tercih edilebileceği düşünülmektedir. Çalışmanın ikinci bölümünde bulanık kümelere farklı bir yaklaşım olan sezgisel bulanık kümelere değinilmektedir. Üçüncü bölümde yeni bir yaklaşım olarak sezgisel kümelere geliştirilen bulanık WASPAS yöntemi sunulmaktadır. Dördüncü

bölümde ise belirlenen kriterler altında beş aday depo yeri Sezgisel bulanık WASPAS yöntemi ile değerlendirilmektedir. Son bölümde elde edilen sonuçlar ve kullanılan yöntem yorumlanmaktadır.

2. Sezgisel Bulanık Kümeler

Günlük hayatta rastlanan problemlerde karşılaşılan belirsizlikler ve kişisel düşüncelerin kesin ifadeler içermemesi bu tür problemlerin çözümünü zorlaştırabilir. İlk olarak Zadeh tarafından ortaya konan bulanık küme teorisi klasik sayıların matematiksel olarak ifade etmekte yeterli olmayacağı dilsel ifadelerin sayısal olarak modellenmesine olanak sağlar. Bulanık küme teorisi kişisel yargılardan kaynaklanan dilsel belirsizliği bulanık sayılarla ifade eder (Chen 2000).

Bulanık küme, bir kümenin elemanını o kümeye aitlik derecesi ile tanımlayan karakteristik bir fonksiyondur. Bu fonksiyonun görüntü kümesi $[0,1]$ olup, bir elemanın görüntü değerinin 1 olması tam üyeliği belirtirken, 0 olması küme dışı olduğu anlamına gelir. Bu iki tamsayı dışında kalan değerler, elemanın kümeye aitlik derecesini bir başka deyişle üyelik derecesini belirler. Bir elemanın aitlik derecesi ile ait olmama derecesi toplamı 1'e eşittir (Zadeh 1965).

Belirsizliği modellemeyi esas alan klasik bulanık küme teorisi ilerleyen zamanlarda farklı yaklaşımlar ile geliştirilmeye başlanmıştır. Atanassov (1986) tarafından ortaya konan Sezgisel Bulanık Küme Teorisi'nde, klasik bulanık küme teorisinde olduğu gibi gene $[0,1]$ 'de değer alan aitlik derecesi tanımlanmaktadır. Ancak klasik bulanık küme teorisinden farklı olarak sezgisel bulanık kümelere elemanların aitlik ve ait olmama dereceleri toplamı 1'e eşit olmayabilmektedir. Bu sebeple tereddütlük derecesi adı verilen üçüncü bir parametre daha tanımlanarak, sezgisel bulanık küme elemanlarının ilgili parametre değerleri 1'e eşitlenmektedir.

$X \neq \emptyset$ olmak üzere X kümesinde I sezgisel bulanık küme

$$I = \{(x, \mu_I(x), \vartheta_I(x) | x \in X)\} \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır (Atanassov 1986). $\mu_I(x) \in [0,1]$ olup x elemanın sezgisel bulanık kümeye aitlik

derecesini, $\vartheta_I(x)$ x elamanının sezgisel bulanık kümeye ait olmama derecesini gösterir. $\forall x \in X$ için

$$0 \leq \mu_I(x) + \vartheta_I(x) \leq 1 \quad (2)$$

koşulu sağlanır. $\pi_I(x)$ tereddütlik derecesi olup

$$\pi_I(x) = 1 - \mu_I(x) - \vartheta_I(x) \quad (3)$$

şeklinde hesaplanır.

$I_1 = (\mu_1, \vartheta_1)$ ve $I_2 = (\mu_2, \vartheta_2)$ iki sezgisel bulanık sayı olsun. Bu iki bulanık sayı için şu cebirsel özellikler tanımlanır (Xu 2006) :

$$I_1 \oplus I_2 = (\mu_1 + \mu_2 - \mu_1\mu_2, \vartheta_1\vartheta_2) \quad (4)$$

$$I_1 \otimes I_2 = (\mu_1\mu_2, \vartheta_1 + \vartheta_2 - \vartheta_1\vartheta_2) \quad (5)$$

$$\lambda I_1 = (1 - (1 - \mu_1)^\lambda, \vartheta_1^\lambda), \quad \lambda > 0 \quad (6)$$

$$I_1^\lambda = (\mu_1^\lambda, 1 - (1 - \vartheta_1)^\lambda), \quad \lambda > 0 \quad (7)$$

I_1 ve I_2 bulanık sayıları için skor ve kesinlik fonksiyonları sırasıyla

$$S(I_1) = \mu_1 + \mu_1(1 - \mu_1 - \vartheta_1) \quad (8)$$

$$S(I_2) = \mu_2 + \mu_2(1 - \mu_2 - \vartheta_2) \quad (9)$$

$$H(I_1) = \mu_1 + \vartheta_1 \quad (10)$$

$$H(I_2) = \mu_2 + \vartheta_2 \quad (11)$$

olarak hesaplanır (Liu ve Wang 2007). Bu tanımlardan yola çıkarak iki sezgisel bulanık sayının büyüklük olarak karşılaştırılması

$$S(I_1) < S(I_2) \text{ ise } I_1 < I_2 \quad (12)$$

$$S(I_1) > S(I_2) \text{ ise } I_1 > I_2 \quad (13)$$

$$S(I_1) = S(I_2), H(I_1) < H(I_2) \text{ ise } I_1 < I_2 \quad (14)$$

$$S(I_1) = S(I_2), H(I_1) > H(I_2) \text{ ise } I_1 > I_2 \quad (15)$$

$$S(I_1) = S(I_2), H(I_1) = H(I_2) \text{ ise } I_1 = I_2 \quad (16)$$

şeklinde yapılır (Liu ve Wang 2007).

$I_j = (\mu_{I_j}, \vartheta_{I_j})$ ($j = 1, \dots, n$) şeklinde verilen bir grup sezgisel bulanık sayı, önem dereceleri $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ olmak üzere, sırasıyla sezgisel bulanık ağırlıklı aritmetik ortalama ($IFWA_\omega$) ve

sezgisel bulanık ağırlıklı geometrik ortalama ($IFWG_\omega$) operatörleri ile bir araya getirilebilir (Liu ve Wang 2007) :

$$IFWA_\omega(I_1, I_2, \dots, I_n) = \left(\frac{1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{I_j})^{\omega_j}}{\prod_{j=1}^n (\vartheta_{I_j})^{\omega_j}} \right) \quad (17)$$

$$IFWG_\omega(I_1, I_2, \dots, I_n) = \left(\frac{\prod_{j=1}^n (\mu_{I_j})^{\omega_j}}{1 - \prod_{j=1}^n (1 - \vartheta_{I_j})^{\omega_j}} \right) \quad (18)$$

3. Sezgisel Bulanık WASPAS

(Zavadkas vd. 2012) tarafından geliştirilen WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) yöntemi, WSM (Weighted Sum Model) Ağırlıklı Toplam Model ve WPM (Weighted Product Model) Ağırlıklı Çarpım Modeli'nin bir katsayıyla birleştirilmesi esasına dayanır. En yüksek tahmin doğruluğunu veren ağırlıklı toplamın da iyileştirilmesi hedeflenerek bu modeller bir katsayıyla birleştirilip doğrulukları test edilmiş ve önerilen yöntemin, seçim yapılacak alternatiflerin doğru ve güvenilir sıralanması için en uygun birleştirilmiş model olduğu ortaya konmuştur. WASPAS yöntemi yaygın kullanılan güvenilirliği yüksek bir karar verme yöntemi olup gerek klasik, gerek farklı tip bulanık kümelerde geliştirilmiş versiyonlarının çeşitli uygulamalarına literatürde rastlamak mümkündür. (Chakraborty ve Zavadkas 2014) robot üretim sürecinde, (Lashgari vd. 2014) dış kaynakların kullanım stratejilerinin değerlendirilmesinde, (Tayalı 2017) tedarikçi seçiminde, (Gavcar ve Organ 2020) online satış yapan seyahat acentalarının değerlendirilmesinde, (Arslanhan ve Tosun 2021) ulaşım modu seçim kararı için klasik WASPAS yöntemini uygulamışlardır. (Turskis vd. 2015) inşaat yeri seçimi için bulanık WASPAS yöntemini geliştirmişlerdir. (Keschawarz vd. 2016) aralıklı Tip-2 bulanık kümeleri kullanarak yeşil tedarikçilerin değerlendirilmesinde, (Nie vd.2017) nütrosifik bulanık kümeleri kullanarak güneş-rüzgar santral alanı seçiminde, (Gündoğdu ve Kahraman 2019) küresel bulanık kümelerde robot seçimi için WASPAS yöntemini kullanmışlardır. Karar sürecinde belirlenen kriterler fayda yönlü ve maliyet yönü olarak nitelendirilebilir. Çok kriterli

karar verme probleminde, değerlerinin en büyüklenmesi istenen fayda kriterleri ile en küçüklenmesi istenen maliyet kriterlerinin, geliştirilen modele katkılarını birlikte değerlendirebilme ve algoritma gereği duyarlılık analizi yaparak seçeneklerin sıralanmasındaki tutarlılığı da inceleyebilme özellikleri ile ön plana çıkan WASPAS yöntemi, çalışmaya konu olan ve karar kriterleri fayda yönlü ve maliyet yönlü niteliklerini taşıyan depo yeri seçim problemi için tercih edilmiş olup sezgisel bulanık kümelerde geliştirilmekte ve incelenmektedir.

Alternatiflerin kümesi $ALT = \{ALT_1, \dots, ALT_m\}$ ve kriterlerin kümesi $KR = \{KR_1, \dots, KR_n\}$ olmak üzere modele l adet önem dereceleri birbirinden farklı karar vericiler dahil edilir. Karar vericilerin tecrübe ya da bilgi düzeyleri farklılık gösterebileceğinden önem dereceleri de birbirlerinden nicelik olarak az ya da fazla olabilir. $\lambda_k \geq 0$ ($k = 1, 2, \dots, l$) olmak üzere $\lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_l\}$ karar vericilerin ağırlık vektörüdür ve $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$ 'dir. $\tilde{X}^{(k)} = (\tilde{x}_{ij}^k)_{m \times n}$ k . karar vericinin sezgisel bulanık değerlendirmelerinin yer aldığı karar matrisi olup $\tilde{x}_{ij}^k = (\mu_{ij}^k, \vartheta_{ij}^k, \pi_{ij}^k)$ sezgisel bulanık sayının tanımına göre k . karar vericiye göre i . alternatifin j . kriteri sağlama derecesi, sağlamama derecesi ve tereddütlük derecesini gösterir. $\tilde{X} = (\tilde{x}_{ij})_{m \times n}$ ise tüm karar vericilerin değerlendirilmelerinin birleştirildiği karar matrisidir.

Geliştirilen yöntemin adımları aşağıdaki verilen adımlarla sıralanmaktadır:

Adım 1. Karar verme modelinde, değerlendirme için kullanılacak olan dilsel değişkenler ile bu değişkenlere karşılık gelen sezgisel bulanık sayı değerleri belirlenir.

Adım 2. Karar vericilerin önem değerleri değerlendirilerek sezgisel bulanık sayı olarak ifade edilir ve her karar vericinin karar modelindeki ağırlığı hesaplanır.

$L_k = (\mu_k, \vartheta_k, \pi_k)$ k . karar vericinin önem derecesini gösteren bir sezgisel bulanık sayı olmak üzere k . karar vericinin ağırlığı, $\lambda_k \geq 0$ ($k = 1, \dots, l$) olmak üzere:

$$\lambda_k = \frac{\left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \vartheta_k} \right) \right)}{\sum_{k=1}^l \left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \vartheta_k} \right) \right)} \quad (19)$$

şeklinde hesaplanır.

Adım 3. Karar verme modelinin kriterleri karar vericiler tarafından dilsel değişkenler ve sezgisel bulanık karşılıkları ile değerlendirilir.

Çizelge 1. Kriterlerin Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesi

	KV ₁	KV ₂	...	KV _k
KR ₁	($\mu_{11}, \vartheta_{11}, \pi_{11}$)	($\mu_{12}, \vartheta_{12}, \pi_{12}$)	...	($\mu_{1k}, \vartheta_{1k}, \pi_{1k}$)
KR ₂	($\mu_{21}, \vartheta_{21}, \pi_{21}$)	($\mu_{22}, \vartheta_{22}, \pi_{22}$)	...	($\mu_{2k}, \vartheta_{2k}, \pi_{2k}$)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
KR _n	($\mu_{n1}, \vartheta_{n1}, \pi_{n1}$)	($\mu_{n2}, \vartheta_{n2}, \pi_{n2}$)	...	($\mu_{nk}, \vartheta_{nk}, \pi_{nk}$)

Adım 4. Karar vericilerin önem ağırlıkları ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$) dikkate alınarak yaptıkları kriter değerlendirmeleri sezgisel bulanık ağırlıklı aritmetik ortalama operatörü ($IFWA_\lambda$) ile birleştirilir

$$IFWA_\lambda(I_1, I_2, \dots, I_n) = \left(\frac{1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{I_j})^{\lambda_j}}{\prod_{j=1}^n (\vartheta_{I_j})^{\lambda_j}} \right) \quad (20)$$

Adım 5. Birleştirilmiş sezgisel bulanık kriter değerleri, sezgisel bulanık sayılar için tanımlanan skor fonksiyon ile durulaştırılır :

$$\omega_j = \mu_j + \mu_j(1 - \mu_j - \vartheta_j) \quad (j = 1, \dots, n) \quad (21)$$

Adım 6. Bulunan kriter skor değerleri normalleştirilerek kriter ağırlıkları hesaplanır :

$$\bar{\omega}_j = \frac{\omega_j}{\sum_{j=1}^n \omega_j} \quad (22)$$

$$j = 1, \dots, n ; 0 < \bar{\omega}_j < 1 ; \sum_{j=1}^n \bar{\omega}_j = 1$$

Adım 7. Alternatifler belirlenen kriterler altında her bir karar verici tarafından değerlendirilir ve yapılan değerlendirmeler biraraya getirilerek birleştirilmiş karar matrisi \tilde{X} oluşturulur.

$\tilde{x}_{ij}^k = (\mu_{ij}^k, \vartheta_{ij}^k, \pi_{ij}^k)$ ($k = 1, \dots, l$) k . karar vericinin j .kriter altında i . alternatif için sezgisel bulanık değerlendirmesi olmak üzere

$$\tilde{X}^{(k)} = (\tilde{x}_{ij}^k)_{m \times n} = \begin{pmatrix} \tilde{x}_{11}^k & \tilde{x}_{12}^k & \dots & \tilde{x}_{1n}^k \\ \tilde{x}_{21}^k & \tilde{x}_{22}^k & \dots & \tilde{x}_{2n}^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1}^k & \tilde{x}_{m2}^k & \dots & \tilde{x}_{mn}^k \end{pmatrix} \quad (23)$$

$$\tilde{X} = (\tilde{x}_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{pmatrix} \quad (24)$$

$$\tilde{x}_{ij} = \left(1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{\tilde{x}_{ij}^k})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (\vartheta_{\tilde{x}_{ij}^k})^{\lambda_k} \right) \quad (25)$$

şeklindedir.

Adım 8. Birleştirilmiş karar matrisi normalleştirilerek $\tilde{R} = (\tilde{r}_{ij})_{m \times n}$ birleştirilmiş normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulur (Liang,2020). F ve M sırasıyla fayda ve maliyet kriterleri olmak üzere normalleştirilmiş karar matrisinin elemanları :

$$\tilde{r}_{ij} = \begin{cases} (\mu_{\tilde{x}_{ij}}, \vartheta_{\tilde{x}_{ij}}) , & j \in F \\ (\vartheta_{\tilde{x}_{ij}}, \mu_{\tilde{x}_{ij}}) , & j \in M \end{cases} \quad (26)$$

şeklinde oluşturulur.

Adım 9. Alternatiflerin ağırlıklı toplam modele göre nispi önem değerleri elde edilir :

$$\tilde{Q}_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \tilde{r}_{ij} * \bar{\omega}_j \quad (27)$$

(27) denklemi iki aşamalı olarak hesaplanır. Çarpma aşaması (6) tanımı kullanılarak yapılır:

$$\tilde{r}_{ij} * \bar{\omega}_j = \left(1 - \left(1 - \mu_{\tilde{r}_{ij}} \right)^{\bar{\omega}_j}, (\vartheta_{\tilde{r}_{ij}})^{\bar{\omega}_j} \right) \quad (28)$$

İkinci aşamada her toplam terimi (4) tanımı kullanılarak hesaplanır. Örneğin ilk iki terim için :

$$\tilde{r}_{i1\bar{\omega}} + \tilde{r}_{i2\bar{\omega}} = \left(\mu_{\tilde{r}_{i1\bar{\omega}}} + \mu_{\tilde{r}_{i2\bar{\omega}}} - \mu_{\tilde{r}_{i1\bar{\omega}}} \mu_{\tilde{r}_{i2\bar{\omega}}}, \vartheta_{\tilde{r}_{i1\bar{\omega}}} \vartheta_{\tilde{r}_{i2\bar{\omega}}} \right) \quad (29)$$

Adım 10. Ağırlıklı çarpım modeli kullanılarak (VPM) aşamalı olarak alternatiflerin nisbi önemleri hesaplanır.

$$\tilde{Q}_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n \tilde{r}_{ij}^{\bar{\omega}_j} \quad (30)$$

(30) denklemi iki hesaplanır. Öncelikle (7) tanımı kullanılarak üs alma işlemi yapılır:

$$\tilde{r}_{ij}^{\bar{\omega}_j} = \left(\mu_{\tilde{r}_{ij}}^{\bar{\omega}_j}, 1 - \left(1 - \vartheta_{\tilde{r}_{ij}} \right)^{\bar{\omega}_j} \right) \quad (31)$$

Sonrasında (5) tanımı kullanılarak her çarpım terimi hesaplanır. Örneğin ilk iki terim için :

$$\tilde{r}_{i1}^{\bar{\omega}_1} \otimes \tilde{r}_{i2}^{\bar{\omega}_2} = \left(\mu_{\tilde{r}_{i1}}^{\bar{\omega}_1} \mu_{\tilde{r}_{i2}}^{\bar{\omega}_2}, \vartheta_{\tilde{r}_{i1}}^{\bar{\omega}_1} + \vartheta_{\tilde{r}_{i2}}^{\bar{\omega}_2} - \vartheta_{\tilde{r}_{i1}}^{\bar{\omega}_1} \vartheta_{\tilde{r}_{i2}}^{\bar{\omega}_2} \right) \quad (32)$$

Adım 11. Alternatiflerin her iki modele göre hesaplanan nisbi önemleri, aynı zamanda bir karar verme duyarlılık katsayısı olan λ bütünleştirme katsayısı ($0 \leq \lambda \leq 1$) ile biraraya getirilerek çarpma özelliği (6) kullanılarak toplam nisbi önem değerleri, hesaplanır :

$$\tilde{Q}_i = \lambda \tilde{Q}_i^{(1)} + (1 - \lambda) \tilde{Q}_i^{(2)} \quad (33)$$

Burada, λ değerinin seçimi, karar vericiye bırakılmaktadır. Tanım olarak, $\lambda = 0$ alındığında karar modeli ağırlıklı toplam modele, $\lambda = 1$ ağırlıklı çarpım modeline dönüşmektedir.

Adım 12. Hesaplanan nisbi değerler, skor fonksiyon değerleri hesaplanarak büyükten küçüğe doğru sıralanır. En yüksek skor değeri olan alternatif ideal seçimdir. Skor değerlerinin eşit olması durumunda kesinlik fonksiyon değerleri hesaplanarak sıralama yapılır.

Adım 13. Alternatiflerin sıralamalarını incelemek amacıyla λ katsayısına farklı değerler atanarak duyarlılık analizi gerçekleştirilir.

Adım 14. (34) denklemiyle optimal λ bulunarak (33) denklemiyle bulunan sıralamaların güvenilirliği test edilir :

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^m Q_i^{(2)}}{\sum_{i=1}^m Q_i^{(1)} + \sum_{i=1}^m Q_i^{(2)}} \quad (34)$$

4. Uygulama

Üretim yeri Trakya bölgesinde bulunan bir firma pazarlama ve lojistik faaliyetlerini büyütmek için İstanbul'da bir depo kurmaya karar vermiştir. Müşterilerine tedarik sürecinde herhangi bir problem yaşamadan kısa sürede ulaşmayı hedefleyen ve aynı zamanda kurumsal kârlılığını da dikkate alan firma için, ürün teslimde gecikmeye ve üretim maliyetlerinde artışa da sebep vermeyecek uygun bir depo yeri seçimi büyük önem taşımaktadır. Bunun için Ümraniye(ALT_1), Bayrampaşa(ALT_2), Kurtköy (ALT_3), Maslak(ALT_4) ve Hadımköy (ALT_5) olmak üzere 5 adet aday depo yeri belirlemiştir. Karar vericiler olarak firmanın genel müdürü, perakende satış müdürü ve lojistik sektöründe tecrübesi yüksek olan bir endüstri mühendisi görev almıştır. Gerek literatür taraması gerekse firma ile yapılan görüşmeler sonucu beş tane kriter belirlenmiştir :

Ulaşım Kolaylığı (KR_1) : Depodaki malların talep edilen yerlere hızlı ve zamanında ulaştırılması firma için oldukça önemlidir ve müşteriler için de tercih edilme sebebidir. Bu nedenle depo yerinin seçiminde otoyol, havaalanı, demiryolu, liman gibi taşıma yollarına yakın olması firma tarafından dikkate alınan bir faktör olmuştur.

Satış Hacmi (KR_2) : Deponun satışların ve müşteri potansiyelinin yüksek olduğu bir bölgeye kurulması hem müşterilerin dilediği zaman hizmet alabilmesi hem de potansiyel müşterilere yakın olabilmek adına önemli bir avantajdır. Ayrıca işletmenin taşıma maliyetlerini önemli ölçüde azaltır.

Rakip firma sayısı (KR_3) : Firma müşteri portföyünü zenginleştirmek hedefindedir. Potansiyel müşterilere yakın olabilmek ve pazardan pay almak için rakiplerinin yoğun olarak bulunduğu bölgelerde var olma düşüncesindedir. Bu nedenle rakip firmaların sayısı değerlendirilecek bir diğer seçim kriteri olarak belirlenmiştir.

Nitelikli iş gücü (KR_4) : Bir işletmenin başarılı olmasına etki eden faktörlerden biri de bünyesindeki insan kaynağının niteliğidir. Potansiyel nitelikli iş gücü, karar almada bir kriter olarak uygulanacak modele eklenmiştir.

Depo Kiralama Maliyeti (KR_5) : İşletmeler kâr etme amacıyla kurulmuş iktisadi kuruluşlardır ve faaliyetlerinde maliyet kalemlerinin düşük olmasını hedefler. Bu nedenle, seçeneklerin bulunduğu bölgelerde kiralama maliyeti değerlendirmede dikkate alınması gereken bir kriter olarak öne çıkmıştır.

Kriterler belirlendikten sonra bulanık karar destek modelini uygulanması aşamasına geçilmiştir :

Adım 1. Öncelikle karar vericilerin kriterleri ve alternatifleri değerlendirecekleri dilsel değişkenler ve sezgisel bulanık sayı karşılıkları belirlenmiş ve Çizelge 2 ve Çizelge 3'te sunulmuştur (Yıldırım 2019):

Çizelge 2. Karar vericilerin önem düzeyi ve kriterlerin ağırlığını belirlemede kullanılan değerlendirme ölçeği

Dilsel Değişkenler	Sezgisel Bulanık Sayı
Çok Yüksek (ÇY)	(0.9,0.1,0.0)
Yüksek(Y)	(0.75, 0.2, 0.05)
Orta (O)	(0.5,0.45,0.05)
Düşük(D)	(0.35,0.6,0.05)
Çok Düşük(ÇD)	(0.1,0.9,0.0)

Çizelge 3. Alternatifleri Değerlendirmede Kullanılan Değerlendirme Ölçeği

Dilsel Değişkenler	Sezgisel Bulanık Sayı
Çok İyi	(0.75,0.1,0.15)
İyi	(0.6, 0.25, 0.15)
Orta	(0.5,0.5,0.0)
Kötü	(0.25,0.6,0.15)
Çok Kötü	(0.1,0.75,0.15)

Adım 2. Karar vericilerin önem düzeyleri atanarak ağırlıkları (19) denklemlerle hesaplanmış ve Çizelge 4'te verilmiştir :

Çizelge 4. Karar Vericilerin Önem Düzey ve Ağırlıkları

	KV_1	KV_2	KV_3
Önem	ÇY	ÇY	Y
Ağırlık	0.348	0.348	0.305

Örneğin üçüncü karar vericinin karar destek modelindeki ağırlığı :

$$\lambda_3 = \frac{0.75 + 0.05\left(\frac{0.75}{0.75 + 0.20}\right)}{\left(0.9 + 0\left(\frac{0.9}{0.9 + 0.1}\right) + 0.9 + 0\left(\frac{0.9}{0.9 + 0.1}\right) + \right. \\ \left. 0.75 + 0.05\left(\frac{0.75}{0.75 + 0.20}\right)\right)}$$

= 0.305

olarak hesaplanmıştır.

Adım 3. Karar vericiler tarafından kriterler değerlendirilmiş ve yapılan değerlendirmeler Çizelge 5’te sunulmuştur :

Çizelge 5. Kriterlerin Karar Vericiler Tarafından Değerlendirilmesi

Karar Vericiler	KV_1	KV_2	KV_3
Önem dereceleri	0.348	0.348	0.305
KR_1	ÇY	ÇY	Y
KR_2	ÇY	ÇY	ÇY
KR_3	Y	Y	O
KR_4	O	O	Y
KR_5	Y	Y	Y

Adım 4. Kriter değerlendirmeleri karar vericilerin önem düzeyleri de dikkate alınarak (20) denklemiyle birleştirilmiş ve kriterlerin sezgisel bulanık ağırlık değerleri elde edilmiştir.

Örneğin birinci kriterin (KR_1) sezgisel bulanık ağırlık değeri için karar vericiler tarafından yapılan sezgisel bulanık değerlendirmeler şu şekilde hesaplanır :

$$(\mu_{KR1}, \vartheta_{KR1}) = IFWA_{\lambda}(KV_1, KV_2, \dots, KV_n) \\ = \left(\begin{matrix} 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{KV_j})^{\lambda_j} \\ \prod_{j=1}^n (\vartheta_{KV_j})^{\lambda_j} \end{matrix} \right)$$

$$= ((1 - \{(1 - 0.9)^{0.348} * (1 - 0.9)^{0.348} * (1 - 0.75)^{0.302}\}), (0.1)^{0.348} * (0.1)^{0.348} * (0.2)^{0.302}) \\ = (0.868, 0.124))$$

Tereddütlük Derecesi ise

$$\pi_{KR1} = 1 - (0.868 + 0.124) = 0.009$$

olarak hesaplanmıştır. Diğer kriterlerin ağırlıkları aynı şekilde hesaplanmış ve Çizelge 6’da sunulmuştur :

Çizelge 6 . Kriterlerin Sezgisel Bulanık Ağırlıkları

KR_1	(0.868, 0.124, 0.009)
KR_2	(0.90, 0.10, 0.0)
KR_3	(0.691, 0.264, 0.044)
KR_4	(0.595, 0.378, 0.027)
KR_5	(0.75, 0.2, 0.05)

Adım 5. Sezgisel bulanık kriter ağırlıkları (21) denklemi ile durulaştırılmış ve (22) denklemi ile normalleştirilerek kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Örneğin birinci kriterin (KR_1) ağırlık skor değeri :

$$0.868 + 0.868(1-0.868-0.124)= 0.875$$

olup normalleştirilmiş ağırlık değeri

$$\frac{0.875}{3.896} = 0.225$$

olarak hesaplanmıştır. Tüm kriterlerin skor değerleri ve normalleştirilmiş skor değerleri Çizelge 7’de verilmiştir :

Çizelge 7 . Kriterlerin Skor Değerleri ve Normalleştirilmiş Edilmiş Ağırlık Değerleri

	Skor değerleri	Normalleştirilmiş skor değerleri
KR_1	0.875	0.225
KR_2	0.900	0.231
KR_3	0.722	0.185
KR_4	0.611	0.157
KR_5	0.788	0.202
Toplam	3.896	1.000

Böylece karar destek modelindeki kriterlerin ağırlıklar $\{0.225,0.231,0.185,0.157,0.202\}$ olarak belirlenmiştir. Buradan karar vericiler için en önemli kriterin en yüksek ağırlık değerini taşıyan satış hacmi kriteri olduğu görülmektedir.

Adım 6. Yöntemin bu aşamasında alternatifler karar vericiler tarafından değerlendirilmektedir :

Çizelge 8 . Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Kriterler	Alternatifler	KV_1	KV_1	KV_1
KR_1	ALT_1	i	i	O
	ALT_2	Çi	Çi	Çi
	ALT_3	O	O	K
	ALT_4	i	i	i
	ALT_5	i	O	i
KR_2	ALT_1	i	i	i
	ALT_2	i	Çi	Çi
	ALT_3	Çi	Çi	i
	ALT_4	i	i	O
	ALT_5	i	i	i
KR_3	ALT_1	i	i	i
	ALT_2	Çi	i	i
	ALT_3	O	K	K
	ALT_4	K	O	O
	ALT_5	i	i	i
KR_4	ALT_1	Çi	i	i
	ALT_2	Çi	Çi	Çi
	ALT_3	K	K	K
	ALT_4	i	i	Çi
	ALT_5	O	O	O
KR_5	ALT_1	i	i	i
	ALT_2	Çi	i	i
	ALT_3	K	O	K
	ALT_4	i	O	O
	ALT_5	Çi	Çi	Çi

Yapılan değerlendirmeler sezgisel bulanık sayılara çevrilmiş ve karar vericilerin önem değerleri dikkate alınarak (25) denklemiyle biraraya getirilmiştir. Birleştirilmiş karar matrisi Çizelge 9’da sunulmaktadır:

Çizelge 9 . Birleştirilmiş Karar Matrisi

	KR_1	KR_2	KR_3	KR_4	KR_5
ALT_1	(0.57,0.3 1,0.12)	(0.6,0.25 ,0.15)	(0.6,0.25 ,0.15)	(0.66,0.8 2,0.16)	(0.6,0.25 ,0.15)
ALT_2	(0.75,0.1 0,0.15)	(0.71,0.1 4,0.16)	(0.66,0.1 8,0.16)	(0.75,0.1 0,0.15)	(0.66,0.1 8,0.16)
ALT_3	(0.43,0.5 3,0.04)	(0.71,0.1 3,0.16)	(0.35,0.5 6,0.09)	(0.5,0.5, 0)	(0.35,0.5 6,0.09)
ALT_4	(0.6,0.25 ,0.15)	(0.57,0.3 1,0.12)	(0.42,0.5 3,0.04)	(0.06,0.1 9,0.16)	(0.5,0.5, 0)
ALT_5	(0.57,0.3 2,0.14)	(0.6,0.25 ,0.15)	(0.6,0.25 ,0.15)	(0.5,0.5, 0)	(0.75,0.1 ,0.15)

Adım 7. Çalışmamızda ilk dört kriter fayda yönlü olup, beşinci kriter maliyet yönlü kriter olduğundan birleştirilmiş karar matrisi (26) eşitliği kullanılarak normalleştirilmiş ve Çizelge 10’da verilmiştir:

Çizelge 10 . Normalleştirilmiş Karar Matrisi

	KR_1	KR_2	KR_3	KR_4	KR_5
ALT_1	(0.57,0.3 1,0.12)	(0.6,0.25, 0.15)	(0.6,0.25, 0.15)	(0.66,0.8 2,0.16)	(0.25,0.6, 0.15)
ALT_2	(0.75,0.1 0,0.15)	(0.71,0.1 4,0.16)	(0.66,0.1 8,0.16)	(0.75,0.1 0,0.15)	(0.18,0.6 6,0.16)
ALT_3	(0.43,0.5 3,0.04)	(0.71,0.1 3,0.16)	(0.35,0.5 6,0.09)	(0.5,0.5,0)	(0.56,0.3 5,0.09)
ALT_4	(0.6,0.25, 0.15)	(0.57,0.3 1,0.12)	(0.42,0.5 3,0.04)	(0.06,0.1 9,0.16)	(0.5,0.5,0)
ALT_5	(0.57,0.3 2,0.14)	(0.6,0.25, 0.15)	(0.6,0.25, 0.15)	(0.5,0.5,0)	(0.1,,0.75 ,0.15)

Adım 8. Normalleştirilmiş matris, Adım 5’te hesaplanan kriter ağırlıkları ile ağırlıklı toplam modele göre (28)-(29) denklemleriyle ağırlıklandırılarak alternatiflerin $Q_i^{(1)}$ nisbi önem değerleri ; ağırlıklı çarpım modeline göre (31)-(32) denklemleriyle ağırlıklandırılarak alternatiflerin $Q_i^{(2)}$ nisbi önem değerleri elde edilmiş ve Çizelge 11’de sunulmuştur:

Çizelge 11 . Alternatiflerin $Q_i^{(1)}$ ve $Q_i^{(2)}$ nisbi önem değerleri

	$Q_i^{(1)}$	$Q_i^{(2)}$
ALT_1	(0.550,0.298,0.152)	(0.603,0.254,0.144)
ALT_2	(0.651,0.176,0.173)	(0.704,0.141,0.155)
ALT_3	(0.537,0.354,0.109)	(0.409,0.468,0.123)
ALT_4	(0.538,0.337,0.125)	(0.513,0.346,0.141)
ALT_5	(0.503,0.367,0.129)	(0.562,0.285,0.153)

Adım 9. Duyarlılık katsayısı, yöntemi oluşturan ağırlıklı toplam ve ağırlıklı çarpım modellerinin eşit katkıda bulunduğu kabul edilerek $\lambda = 0.5$ alınmış ve (33) denklemiyle alternatiflerin toplam sezgisel bulanık nisbi önem değerleri (Q_i) hesaplanarak Çizelge 12’de verilmiştir :

Çizelge 12 . Alternatiflerin toplam sezgisel bulanık Q_i değerleri

	$\lambda Q_i^{(1)}$	$(1 - \lambda)Q_i^{(2)}$	Q_i
ALT_1	(0.33,0.55,0.13)	(0.3,0.50,0.13)	(0.58,0.28,0.15)
ALT_2	(0.41, 0.2,0.17)	(0.46,0.38,0.17)	(0.68,0.16,0.16)
ALT_3	(0.32,0.59,0.09)	(0.23,0.68,0.08)	(0.48,0.41,0.12)
ALT_4	(0.32,0.58,0.09)	(0.30,0.59,0.11)	(0.53,0.34,0.13)
ALT_5	(0.29,0.61,0.09)	(0.34,0.53,0.13)	(0.53,0.32,0.14)

Adım 10. Alternatiflerin (21) denklemi ile durulaştırılan Q_i nisbi önem değerleri Çizelge 13 ‘de sunulmuştur :

Çizelge 13. Alternatiflerin Q_i değerleri

Alternatifler	$Q_i^{(1)}$	$Q_i^{(2)}$
ALT_1	0.634	0.689
ALT_2	0.763	0.813
ALT_3	0.596	0.459
ALT_4	0.605	0.585
ALT_5	0.568	0.648

Yönteme göre alternatiflerin nisbi önem değerleri büyükten küçüğe $ALT_2 > ALT_1 > ALT_5 > ALT_4 > ALT_3$ olarak sıralanmış olup buna göre en yüksek Q_i değerine sahip ikinci alternatif olan Bayrampaşa

(ALT_2) karar destek modelinde en iyi alternatif olarak önerilmektedir. Bunu Ümraniye, Hadımköy, Maslak ve Kurtköy takip etmektedir.

Adım 11. Bu aşamada duyarlılık analizi yapılmış ve farklı λ değerleri için alternatiflerin Çizelge 14’te verilen nisbi önem değerleri (Q_i) hesaplanmıştır:

Çizelge 14. Farklı λ değerleri için Q değerleri

λ	ALT_1	ALT_2	ALT_3	ALT_4	ALT_5
0	0.689	0.813	0.459	0.585	0.648
0.1	0.684	0.809	0.475	0.587	0.640
0.2	0.679	0.804	0.90	0.590	0.633
0.3	0.674	0.799	0.504	0.591	0.625
0.4	0.668	0.795	0.519	0.593	0.617
0.5	0.662	0.790	0.532	0.595	0.609
0.6	0.657	0.785	0.546	0.597	0.602
0.7	0.651	0.779	0.559	0.599	0.594
0.8	0.646	0.774	0.572	0.610	0.585
0.9	0.640	0.769	0.584	0.603	0.577
1	0.634	0.763	0.596	0.605	0.568

Yapılan duyarlılık analizi neticesinde, tüm λ değerleri için alternatiflerin nisbi değerlerine (Q_i) göre sıralamalarının aynı kaldığı görülmektedir.

Adım 12. Çizelge 11’de verilen alternatiflerin sezgisel bulanık $Q_i^{(1)}$ ve $Q_i^{(2)}$ değerleri (21) denklemi ile durulaştırılarak Çizelge 15’te verilmiştir:

Çizelge 15. Alternatiflerin durulaştırılmış $Q_i^{(1)}$ ve $Q_i^{(2)}$ değerleri

Alternatifler	Q_i
ALT_1	0.663
ALT_2	0.790
ALT_3	0.532
ALT_4	0.595
ALT_5	0.610

Örneğin birinci alternatif olan Ümraniye (ALT_1) için durulaştırılmış $Q^{(1)}$ değeri :

$$Q_{ALT_1}^{(1)} = 0.550 + 0.50 * (1 - 0.550 - 0.298) = 0.634$$

olarak hesaplanmıştır. Bu değerler ile , özel olarak her alternatif için (34) denklemi yardımıyla optimal λ katsayıları belirlenerek alternatiflerin nisbi değerleri hesaplanmış ve karar destek modeli için önerilen sıralamanın doğruluğu test edilmiştir(Arslanhan ve Tosun 2021). Örneğin birinci alternatif (ALT_1) için optimal λ değeri

$$\lambda = \frac{0.689}{0.689 + 0.634} = 0.521$$

olup nisbi değeri :

$$Q_{ALT_1} = 0.521 * 0.634 + (1 - 0,521) * 0,689 \\ = 0.662$$

şekindedir. Alternatiflerin optimal λ değerleri ve nisbi önem değerlerinin yer aldığı Çizelge 16 incelendiğinde $ALT_2 > ALT_1 > ALT_5 > ALT_4 > ALT_3$ sıralamasının değişmediği dolayısıyla geliştirilen yöntemin ve yapılan hesaplamaların tutarlı olduğu görülmektedir.

Çizelge 16. Alternatiflerin optimal λ değerleri ve göreceli nisbi önem değerleri

	Optimal λ	Q_i
ALT_1	0.521	0.662
ALT_2	0.516	0.787
ALT_3	0.435	0,519
ALT_4	0.492	0.595
ALT_5	0.533	0,605

5. Tartışma ve Sonuç

Günümüz dünyasında küreselleşme ve ilerleyen teknolojiyle birlikte rekabetin arttığı koşullarda, işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri ve büyümeleri için birçok faktörü dikkate alması zorunludur. Bilhassa üretim sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin sağlam bir tedarik zinciri yönetimine ihtiyaç duyduğu açıktır. Bu noktada ürün depolama tedarik zinciri yönetiminde en etkili faktördür. En düşük maliyet ve en yüksek kar

prensibiyle faaliyet gösteren iktisadi işletmeler için uygun depo yeri seçimi bilhassa uzun vadeli bir planlama yapılarak alınması gereken oldukça önemli bir ekonomik ve stratejik karardır. Yanlış bir seçim işletmeyi geriye dönülemeyecek büyüklükte bir maddi zararlar karşı karşıya bırakabilir.

Bu çalışmada tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir firmaya uygun depo yer seçimi için bir karar destek modeli geliştirilmiştir. Belirlenen kriterler altında en iyi seçeneğin belirlenmesi gerektiğinden çalışma bir çok kriterli karar verme problemi olarak ele alınmıştır. Literatür çalışmasıyla birlikte çalışmaya katılan karar vericilerin belirlediği kriterler değerlendirilerek modeldeki ağırlık değerleri hesaplanmış, bu kriterler altında alternatifler değerlendirilmiş ve geliştirilen karar verme modelinin adımlarına uygun olarak veriler işlenerek en uygun seçenek belirlenmiştir. Yapılan kriter değerlendirmelerinde en önemli kriterin depo yeri alternatiflerinin buldukları bölgelerde yapılan toplam satışlar olduğu gözlemlenmiş ve bunu yakın bir değerle ulaşım olanakları kriterinin takip ettiği görülmüştür. Beş alternatif arasından en uygun seçeneğin Bayrampaşa olduğu belirlenmiştir. Optimal alternatifin yüksek ağırlıklı kriterler arasında da baskın olarak olumlu değerlendirildiği göze çarpmaktadır.

Bir karar verme modelinde, değerlendirme yapan karar vericilerin alanında yeterince bilgi birikimi ve iş tecrübesi olması esastır. Bununla birlikte kişisel değerlendirmelerin de kimi zaman kesinlik içermeyebileceği, biraz, orta ya da arada gibi niteleyiciler kullanabileceği olasıdır. Bu tip belirsizlik içeren değerlendirmelerin matematiksel olarak ifade edilebilmesi için bulanık kümeler kullanılmaktadır. Ait ve ait olmama derecesini esas alan bulanık kümeler, Atanassov tarafından geliştirilerek, tereddütlük derecesi kavramı da eklenmiştir. Böylece klasik bulanık kümelere göre belirsizliği daha esnek ifade edebilme avantajı da ortaya çıkmıştır. Çalışmamızda, bir çok kriterli karar verme yöntemi olarak yaygın kullanılan ve ağırlıklı toplam ve ağırlıklı çarpım modellerini bütünleştirerek ideal bir çözüm sunan WASPAS yöntemi, yeni bir yaklaşım olarak sezgisel bulanık kümelere ortaya konmuş ve geliştirilen karar destek modelinde uygulanmıştır. Modelde, farklı

bütünleştirme katsayı değerleri için ve yanı sıra her alternatif için ayrı ayrı önerilen optimal bütünleştirme katsayıları ile alternatiflerin nisbi önem dereceleri hesaplanmıştır. Yapılan sıralamalarda herhangi bir değişikliğin olmaması gerek sezgisel bulanık kümelerde kurulan modelin gerekse yapılan hesaplamaların tutarlılığını ortaya koymuştur.

ilerleyen çalışmalarda, depo yeri seçimi gibi çok kriterli karar verme problemi niteliği taşıyan tüm uygulamalar için mevcut diğer karar verme yöntemleri yeni bir yaklaşım olarak sezgisel bulanık kümelerde geliştirilebilir ve bütünleşik olarak da birlikte yorumlanabilir.

6. Kaynaklar

- Aktepe, A. and Ersöz, S., 2014. AHP, VIKOR ve MOORA yöntemlerinin depo yeri seçim problemine uygulanması. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, **25(1)**, 2-15.
- Akyüz, Y. and Soba, M., 2013. ELECTRE yöntemiyle tekstil sektöründe optimal kuruluş yeri seçimi: Uşak ili örneği. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, **9(19)**, 185-198
- Arslanhan, H. and Tosun, Ö., 2021. Ulaştırma modu seçimi probleminin bütünleşik en iyi-en kötü ve WASPAS yöntemleriyle çözülmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **27(1)**, 13-23.
- Atanassov, K.T., 1986. Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets Systems*, **20**, 87-96.
- Chakraborty, S., Zavadskas, E.K., 2014. Applications of WASPAS method in manufacturing decision making. *Informatica*, **25(1)**, 1-20.
- Chen, C., 2009. A decision model of field depot location based on the centrobaric method and Analytic Hierarchy Process (AHP). *International Journal of Business and Management*, **4(7)**, 71-75.
- Chen,C.T., 2000. A fuzzy approach to select the location of the distribution center, *Fuzzy Sets and Systems*, **114**, 1-9.
- Çalık, A., 2020. Depo yeri seçimi için Aralık Tip-2 Bulanık ÇKKV tabanlı hibrit bir yaklaşım. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, **9(1)**, 101-114.
- Demirel,T., Demirel, N. Ç. and Kahraman, C., 2010. Multi-criteria warehouse location selection using Choquet integral. *Expert Systems with Applications*, **37(5)**, 3943-3952.
- Gavcar, C.T. and Organ, A., 2020. Evaluation of travel agencies who sell online with AHP-GRA and AHP-WASPAS. *Business and Management Studies : An International Journal*, **8(1)**, 731-753.
- Gündoğdu, F.K. and Kahraman, C., 2019. Extension of Fuzzy WASPAS with spherical fuzzy sets. *Informatica*, **30(2)**, 269-292.
- Jacyna-Golda, I., Izdebski, M. and Podvieszko, A., 2017. Assessment of efficiency of assignment of vehicles to tasks in supply chains: a case study of a municipal company. *Transport*, **32(3)**, 243-251.
- Jayant, A., 2015. Use of Grey Relational Analysis in solving multiple attribute decision making problem: a case study of warehouse location selection. *Advances in Industrial Engineering and Management*, **4(2)**, 2157-164.
- Kabadayı,N. and Esen,Ç.T.E., 2021. Gri ilişkisel Temelli TOPSIS yöntemi ile depo yeri seçimi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, **9(1)**, 169-184.
- Karmaker, C.L. and Saha, M., 2015. Optimization of warehouse location through fuzzy multi-criteria decision making methods. *Decision Science Letters*, **4**, 315-334.
- Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E.K., Amiri, M., Esmaeili, A., 2016. Multi-criteria evaluation of green suppliers using an extended WASPAS method with interval type-2 fuzzy sets. *Journal of Cleaner Production*, **137**, 213-229.
- Korpela, J. and Tuominen, M., 1996. A decision support system for strategic issues management of logistics. *International Journal of Production Economics*, **46-47(1)**, 605-620.

- Lashgari, S., Antucheviciene, J., Delavari, A., Kheirkhah, O., 2014. Using QSPM and WASPAS methods for determining outsourcing strategies. *Journal of Business Economics and Management*, **15(4)**, 729–743.
- Liang, Y., 2020. An EDAS Method for Multiple Attribute Group Decision Making under intuitionistic fuzzy environment and its Application for evaluating green building energy-saving design projects. *Symmetry*, **12**, 484, 1-12.
- Liu H.W and Wang, G.J., 2007. Multi criteria decision making methods based on intuitionistic fuzzy sets. *European Journal of Operational Research*, **179**, 220-233.
- Nie, R.X., Wang, J.Q., Zhang, H.Y., 2017. Solving solar-wind power station location problem using an extended weighted aggregated sum product assessment (WASPAS) technique with interval neutrosophic sets. *Symmetry*, **9(7)**, 106.
- Özbek,A .and Erol,E., 2016. COPRAS ve MOORA yöntemlerinin depo yeri seçim problemine uygulanması. *Ekonomi, İşletme, Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, **2(1)**, 23-42.
- Sağnak,M.,2020. Depo yeri seçimi : perakende sektöründe melez çok kriterli karar verme uygulaması. *Journal of Yaşar University*, **15(59)**, 615-623.
- Singh R.K., Gunasekaran A. and Kumar, P., 2018. Third party logistics (3PL) selection for cold chain management: a fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS approach. *Annals of Operations Research*, **267**, 531-553.
- Tayalı, H.A., 2017. Tedarikçi seçiminde WASPAS yöntemi (WASPAS method for supplier selection). *Asos Journal, The Journal of Academic Social Science*, **5(47)**, 368-380.
- Turskis, Z., Zavadskas, E.K., Antucheviciene, J., Kosareva, N., 2015. A hybrid model based on fuzzy AHP and fuzzy WASPAS for construction site selection. *International Journal of Computers Communications & Control*, **10(6)**, 113–128.
- Xu,Z.S. and Yager,R.R.,2006. Some geometric aggregation operators based on intuitionistic fuzzy sets. *International Journal of General Systems*, **35**, 417-433.
- Yıldırım, B.F and Meydan, C. 2021. Sezgisel Bulanık Edas (SB-EDAS) yöntemi ile finansal performans değerlendirme : BIST perakende ticaret sektöründe bir uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, **12(29)**, 235-251.
- Zadeh,L.A.,1965. Fuzzy sets. *Information And Control*, **8(3)**, 338–353.
- Zavadskas,E.K., Turskis,Z.,Antucheviciene,J. and Zakarevicius, A., 2012. Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronika ir elektrotechnika*, **122(6)**, 3–6.

Contribution Analysis of Optimization Methods on Super-ResolutionYıldıray ANAGÜN^{1,*}, Şahin IŞIK²^{1,2}Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar. Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.e-posta: *Corresponding author: yanagun@ogu.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7743-0709>
sahini@ogu.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1768-7104>

Geliş Tarihi: 01.11.2020

Kabul Tarihi: 31.12.2021

Abstract

In this study, the benefits of choosing a robust optimization function with super resolution are analyzed. For this purpose, the different optimizers are included in the simple Convolutional Neural Network (CNN) architecture SRNET, to reveal the performance of the each method. Findings of this research provides that Adam and Nadam optimizers are robust when compared to (Stochastic Gradient Descent) SGD, Adagrad, Adamax and RMSprop. After experimental simulations, we have achieved the 35.91 (dB)/0.9960 and 35.97 (dB)/0.9961 accuracy rates on Set5 images from Adam and Nadam optimizers, respectively (9-1-5 network structure and filter sizes 128 and 64). These results show that selected optimization function for the CNN model plays an important role in increasing the accuracy rate in the super-resolution problem.

Keywords

Super-resolution; Deep learning; Convolutional neural network; Optimizer

Optimizasyon Yöntemlerinin Süper Çözünürlük Üzerine Katkı Analizi**Öz**

Bu çalışmada, süper çözünürlükte sağlam bir optimizasyon fonksiyonu seçmenin yararları analiz edilmiştir. Bu amaçla her yöntemin performansını ortaya çıkarmak için farklı optimize ediciler, basit Evrimsel Sinir Ağı (CNN) mimarisi SRNET' e dahil edilmiştir. Bu araştırmanın bulguları, Adam ve Nadam optimize edicilerin Stokastik Gradyan İnişi (SGD), Adagrad, Adamax ve RMSprop ile karşılaştırıldığında daha kararlı olduğunu göstermektedir. Deneysel simülasyonlardan sonra, Adam ve Nadam optimize edicilerinden Set5 görüntülerinde sırasıyla 35.91 (dB)/0.9960 ve 35.97 (dB)/0.9961 doğruluk oranlarına ulaştık (9-1-5 ağ yapısı ve filtre boyutları 128 ve 64). Bu sonuçlar, CNN modeli için seçilen optimizasyon fonksiyonunun süper çözünürlük probleminde doğruluk oranını arttırmada önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler

Süper-çözünürlük; Derin öğrenme; Evrimsel sinir ağı; Optimize edici

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Introduction

Super-resolution (SR) reconstruction can be obtained from a set of low-resolution (LR) images, or it can be obtained from only a single image. LR images have such undesirable factors as aliasing, optical distortion, blurring, noise etc. Applications of the super-resolution technology include, but are not limited to medical imaging, military, satellite imaging, remote imaging and video surveillance. In literature, many methods have been proposed to make unsupervised, semi-supervised or supervised SR reconstruction. It can also be categorized the reconstruction of ill-posed SR problem as multi-frame and single frame. The SR reconstruction

research has developed very rapidly, after it was first addressed by (Tsai and Huang 1984). They proposed an unsupervised multi-frame method that performs reconstruction in the frequency domain. Single image super-resolution (SISR) intends to the generation of a high-resolution image from a single LR observation. Although it has a key role for many image processing systems, generating a solution for the SISR is very difficult due to the ill-posed inverse problem. Moreover, the reconstructed HR image should be visually pleasing and as realistic as possible in terms of the original. In recent years, the SISR problem has been extensively researched and notable and effective algorithms have been proposed. SISR methods can be classified into three

main groups as interpolation-based (Dong *et al.* 2013), (Yang *et al.* 2010), (Zhu *et al.* 2016), reconstruction-based (Mandal *et al.* 2017), (Ren *et al.* 2017), (Yan *et al.* 2015) and learning-based algorithms. The learning-based methods consist of dictionary learning-based (Kaveh and Ezzatollah 2017), (Gao *et al.* 2012), (Yang *et al.* 2008), (Yang and Wang 2013) and deep learning-based. Convolutional Neural Networks (CNNs) are used in a wide variety of signal and image processing subjects such as object and pattern recognition, segmentation and super-resolution. CNNs play a major role for constructing a deep learning-based SR model. Dong *et al.* (2015) proposed a Super-Resolution Convolutional Neural Network (SRCNN) to make a nonlinear LR-to-HR mapping function. This CNN network model provided the basis for increasing network depth (Kim *et al.* 2016) or enhancing recursive layers (Tai *et al.* 2017). In Kim *et al.* (2016), a very deep convolutional network has been used inspired by VGGnet used for ImageNet classification (Simonyan and Zisserman 2015). They also demonstrated that increasing network depth provides a significant improvement in accuracy. However, VDSR causes heavy computation time and memory consumption due to the large number of convolution layers. SRResNet, Ledig *et al.* (2017) solved the time and memory consumption problem without changing the ResNet architecture (He *et al.* 2016) too much. The high computational time cost prevents practical usage that needs real-time performance. To overcome this problem, a faster SR method is proposed in (Dong *et al.* 2016). This model used shallow network architecture, therefore it could not learn complex mappings accurately. Lai *et al.* (2018), developed a deep convolutional network within a Laplacian pyramid framework for fast and accurate image SR. In contrast to the previous works, in this study the features are extracted directly from the low-resolution input space instead of bicubic interpolation. An advanced SR algorithm is presented in Lim *et al.* (2017), which provides better results by removing unnecessary modules from the traditional ResNet architecture. They also expanded the model size in addition to the multi-scale stabilized training model to improve performance. On the other hand, more recently,

Tiantong *et al.* (2019) developed a new CNN architecture to learn the SR mapping function in an image transformation domain, in particular for discrete cosine transform (DCT). CNNs have achieved impressive SR performance on video frames. Li *et al.* (2020) developed a different approach to combine motion compensation technique with CNN to estimate a high resolution video from LR counterpart. The deep unfolding architecture can be considered as a main component of a multimodal framework for image super-resolution. Marivani *et al.* (2020) proposed a multimodal deep learning method which combines sparse priors and enables efficient integration of data from another image modality into the network architecture.

In all deep learning-based SR methods, an optimization function should be used to increase the accuracy rate and improve the quality of the output result image. In this study, the performance of the frequently used optimization functions are compared including different architectures and image sets. The rest of this paper is organized as section 2 presents the utilized method and tools, section 3 shows the information about dataset and performance evaluation and finally a conclusion is touched at the last section.

2. Method and Tools

As the key motivation behind of this study, we have investigated the contributions of optimizers when it comes to update the weights of CNN. It is believed that different optimizers would produce the different sets of weights by avoiding the under-fitting and over-fitting cases. One can say that the gradient descent is searching a local minimum by moving in the direction of steepest descent, which is represented with Figure 1.

However, minimizing a function with steepest descent method depends on the different external factors such as loss function and learning rate. These factors affect the cost of training and have a direct impact on SR performance.

By considering such facts, we need to ensure that which optimizer is best by making a tradeoff between the performance and computational time.

We have made experiments with following optimizers.

1. SGD (Rumelhart *et al.* 1986)
2. RMSprop (Tieleman and Hinton 2012)
3. Adam (Kingma and Ba 2014)
4. Adagrad (Duchi *et al.* 2011)
5. Adamax (Kingma and Ba 2014)
6. Nadam (Dozat 2016)

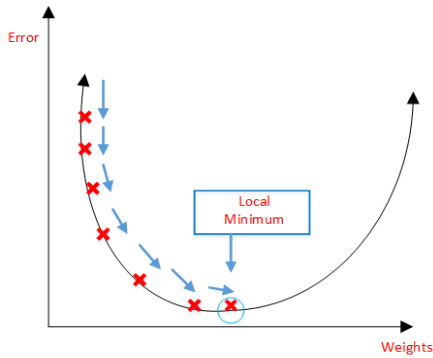


Figure 1. Gradient descent.

For all experiments, the SRCNN architecture has been chosen (Dong *et al.* 2015). Comparison of optimizers are usually a trade-off between performance and speed. To demonstrate this, we train three networks for comparison, which are 9-1-5, 9-3-5, and 9-5-5. Each network structures have been trained with respect to the three experiments: (i) first one is a shallow network with filter sizes $n_1=32$ and $n_2=16$, (ii) second one is larger network with filter sizes $n_1=64$ and $n_2=32$, (iii) third one is deeper network with filter sizes $n_1=128$ and $n_2=64$. Each convolutional layer uses a rectified linear unit (ReLU) as the activation function.

The learning rate is fixed to $1e-4$ for all optimizers. The loss function is selected as mean absolute error, namely L1 loss. The reason of why we used L1 loss, is explained in the thesis (Anagün 2018). In this study, the L1 loss function is faster than the other loss functions and gives effective results for solving the SR problem (Anagün *et al.* 2019).

For all optimizers, the batch size is set to 64 and is chosen for training while the rest of them are selecting for testing. Moreover, the mini-batch size is selected as 16 and epoch size is set to 20. The total parameters of SRCNN is 216,961. The Figure 2 shows

the overall components of the proposed system when searching the best optimizer in CNN model. The all implementations are carried out on Python Keras library with Tensorflow backend.

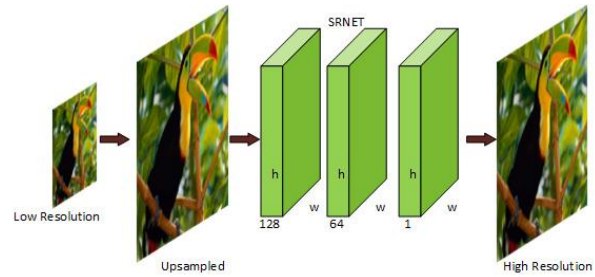


Figure 2. The utilized system for super-resolution.

We can note that the robustness of optimization function is more valuable than the required computation time. With a simple CNN structure, each optimizer produced the different weights for super-resolution.

3. Performance Evaluation

3.1. Datasets

To evaluate the system performance, we have used a common dataset, namely T91 image set (Dong *et al.* 2015). It contains 91 color images. The experiments are realized by selecting patches with stride 10 and scales 2, 3 and 4. The 30.347 samples reserved for training and 3.372 samples reserved for validation. We also compare the performances of optimizers on two standard benchmark datasets: Set5 (Bevilacqua *et al.* 2012) and Set14 (Zeyde *et al.* 2010).

3.2. Performance Analysis

We use the source codes of optimization methods to evaluate the runtime on the same machine with 2.5 GHz Intel i5 CPU (16GB RAM) and NVIDIA GeForce GTX 1050 with GPU (4GB Memory). For a benchmark evaluation, the performance of optimizers have been inspected in three ways; (i) subjective analysis, (ii) objective comparison and (iii) computation time analysis. The 10% of samples were chosen for validation and rest of them for training. For objective results, the Peak-Signal to Noise Ratio (PSNR) and Structural Similarity Index

Measure (SSIM) values are taken as reference. The PSNR metric is shown in Equation 1. The RMSE refers to root mean square error between predicted and actual image.

$$PSNR = 20 * \log(255/RMSE) \quad (1)$$

The subjective evaluation of proposed method is shown in Figure 3. From the visual quality analysis, we can note that the RMSprop/Adam/Nadam optimizers are robust to edge and texture preserving in super resolution output. Some blur artifacts are available on the outputs of SGD method. Also, the SGD method is not better than Bicubic. The performance declination of SGD method is explained with potential capability of utilized dataset (T91). It means that the more number of different patches are needed to make training experiments with SGD optimizer.

For the second evaluation, we have compared the overall PSNR/SSIM values by conducting experiments of Set5 and Set14 datasets. The results of the Set5 dataset according to the network structures are given in Table 1, Table 2 and Table 3, respectively. Experimental results of Set14 dataset are summarized in Table 4, Table 5 and Table 6.

Except for SGD, there is performance competition between all optimizers. When we review the top PSNR scores, it can be seen that Nadam and Adam optimizers are the best among the other methods. Although the PSNR value of RMSprop is lower than Adam and Nadam, but its SSIM value is considerably higher than the other optimizers. Comparing RMSprop and Adamax, we can note that both of them produced the similar performance. The structural similarity is not preserved for Adagrad and SGD.

To examine the effectiveness of the optimization algorithms as a third experiment evaluation, we have compared the computation time of each optimization method in case of training for all networks. It can be said that the training time depends on the network depth. In addition, it can be

seen that the Nadam method is worst one and SGD method is best one in terms of required average computation time for super-resolution. It means that converging the huge weights becomes very fast with SGD method. Aside from time advantage, the visual performance of SGD is not high when observing the results giving Table 7, Table 8 and Table 9.

4. Conclusion

Through this study, we have analyzed the contributions of different optimization functions on super-resolution. It is interesting about this experiment is that we have found the Adam optimizer is robust in terms of numerical values, especially for PSNR and SSIM. On the other side, the Adamax method is very fast when updating the weights of a CNN structure through backpropagation stages. Overall, these results suggest that the Adam and Nadam optimizers involve various functionality for super-resolution. In future work, to show the importance of optimizer selection different CNN deep models can be included in the proposed model.

Table 1. The average PSNR (dB) and SSIM values for all scales of 9-1-5 network structure on Set5 dataset

Optimizer Name	Scale	$n_1=32, n_2=16$		$n_1=64, n_2=32$		$n_1=128, n_2=64$	
		PSNR (dB)	SSIM	PSNR (dB)	SSIM	PSNR (dB)	SSIM
SGD	2	32.42	0.9890	32.54	0.9895	32.31	0.9887
	3	30.48	0.9825	30.35	0.9823	30.21	0.9813
	4	28.76	0.9740	28.61	0.9733	28.64	0.9731
RMSprop	2	35.19	0.9952	35.17	0.9954	35.18	0.9957
	3	31.77	0.9887	31.90	0.9894	32.03	0.9900
	4	29.60	0.9805	29.72	0.9814	29.79	0.9823
Adam	2	35.31	0.9949	35.63	0.9956	35.91	0.9960
	3	31.88	0.9888	32.07	0.9896	32.26	0.9903
	4	29.70	0.9813	29.89	0.9823	30.07	0.9832
Adagrad	2	31.26	0.9854	32.17	0.9881	32.97	0.9904
	3	28.77	0.9722	30.54	0.9828	30.84	0.9839
	4	27.93	0.9665	28.54	0.9724	28.87	0.9745
Adamax	2	35.31	0.9950	35.39	0.9952	35.68	0.9957
	3	31.78	0.9889	31.79	0.9883	32.96	0.9897
	4	29.59	0.9801	29.79	0.9817	29.96	0.9826
Nadam	2	35.45	0.9952	35.64	0.9956	35.97	0.9961
	3	31.92	0.9889	32.06	0.9896	32.24	0.9902
	4	29.71	0.9810	29.87	0.9820	30.85	0.9831

Table 2. The average PSNR (dB) and SSIM values for all scales of 9-3-5 network structure on Set5 dataset

Optimizer Name	Scale	$n_1=32, n_2=16$		$n_1=64, n_2=32$		$n_1=128, n_2=64$	
		PSNR (dB)	SSIM	PSNR (dB)	SSIM	PSNR (dB)	SSIM
SGD	2	33.01	0.9903	32.58	0.9895	32.64	0.9896
	3	30.62	0.9831	30.41	0.9825	30.43	0.9826
	4	28.76	0.9739	28.67	0.9737	28.71	0.9739
RMSprop	2	34.99	0.9952	35.50	0.9960	35.47	0.9957
	3	31.89	0.9893	32.22	0.9905	32.37	0.9912
	4	29.80	0.9826	29.97	0.9834	29.98	0.9837
Adam	2	35.72	0.9957	35.98	0.9961	36.35	0.9965
	3	32.05	0.9896	32.29	0.9904	32.46	0.9909
	4	29.93	0.9824	30.08	0.9833	30.18	0.9838
Adagrad	2	31.36	0.9863	33.36	0.9913	33.97	0.9925
	3	30.26	0.9815	30.95	0.9844	31.17	0.9853
	4	28.63	0.9727	29.19	0.9767	29.27	0.9773
Adamax	2	35.62	0.9956	35.84	0.9959	36.00	0.9961
	3	31.88	0.9889	32.09	0.9897	32.30	0.9904
	4	29.87	0.9820	29.99	0.9827	30.14	0.9835
Nadam	2	35.78	0.9958	36.00	0.9961	36.29	0.9965
	3	32.13	0.9899	32.29	0.9904	32.48	0.9910
	4	29.82	0.9817	30.10	0.9833	30.27	0.9842

Table 3. The average PSNR (dB) and SSIM values for all scales of 9-5-5 network structure on Set5 dataset

Optimizer Name	Scale	$n_1=32, n_2=16$		$n_1=64, n_2=32$		$n_1=128, n_2=64$	
		PSNR (dB)	SSIM	PSNR (dB)	SSIM	PSNR (dB)	SSIM
SGD	2	32.56	0.9895	32.28	0.9886	33.02	0.9905
	3	30.50	0.9828	30.41	0.9822	30.65	0.9832
	4	28.79	0.9743	28.74	0.9737	28.89	0.9747
RMSprop	2	35.13	0.9957	35.40	0.9960	36.00	0.9965
	3	31.92	0.9897	32.23	0.9908	32.46	0.9916
	4	29.90	0.9829	29.97	0.9839	30.02	0.9842
Adam	2	35.94	0.9961	36.23	0.9964	36.53	0.9967
	3	32.18	0.9901	32.43	0.9908	32.61	0.9914
	4	29.98	0.9827	30.18	0.9839	30.30	0.9845
Adagrad	2	33.39	0.9914	33.71	0.9920	34.83	0.9941
	3	30.96	0.9842	31.20	0.9854	31.39	0.9864
	4	29.01	0.9752	29.36	0.9780	29.61	0.9798
Adamax	2	35.67	0.9956	35.81	0.9958	36.12	0.9963
	3	31.79	0.9884	32.28	0.9902	32.45	0.9908
	4	29.87	0.9820	30.08	0.9832	30.23	0.9840
Nadam	2	35.71	0.9957	36.04	0.9962	36.51	0.9966
	3	32.28	0.9903	32.47	0.9909	32.66	0.9914
	4	30.03	0.9827	30.27	0.9843	30.36	0.9847

Table 4. The average PSNR (dB) and SSIM values for all scales of 9-1-5 network structure on Set14 dataset

Optimizer Name	Scale	$n_1=32, n_2=16$		$n_1=64, n_2=32$		$n_1=128, n_2=64$	
		PSNR (dB)	SSIM	PSNR (dB)	SSIM	PSNR (dB)	SSIM
SGD	2	29.07	0.9752	29.18	0.9757	28.95	0.9745
	3	27.48	0.9649	27.39	0.9642	27.28	0.9633
	4	26.16	0.9531	26.06	0.9522	26.08	0.9524
RMSprop	2	31.45	0.9854	31.49	0.9856	31.51	0.9859
	3	28.58	0.9721	28.64	0.9727	28.76	0.9731
	4	26.81	0.9592	26.89	0.9597	26.95	0.9604
Adam	2	31.45	0.9853	31.72	0.9858	31.92	0.9863
	3	28.63	0.9722	28.75	0.9729	28.88	0.9735
	4	26.87	0.9599	27.02	0.9608	27.13	0.9618
Adagrad	2	28.21	0.9703	28.86	0.9740	29.50	0.9774
	3	26.26	0.9534	27.55	0.9654	27.77	0.9670
	4	25.57	0.9463	25.99	0.9513	26.24	0.9539
Adamax	2	31.46	0.9851	31.55	0.9854	31.77	0.9859
	3	28.54	0.9719	28.56	0.9720	28.79	0.9730
	4	26.79	0.9592	26.93	0.9602	27.04	0.9611
Nadam	2	31.58	0.9855	31.72	0.9858	31.96	0.9864
	3	28.62	0.9722	28.76	0.9729	28.87	0.9734
	4	26.86	0.9597	26.99	0.9605	27.13	0.9617

Table 5. The average PSNR (dB) and SSIM values for all scales of 9-3-5 network structure on Set14 dataset

Optimizer Name	Scale	$n_1=32, n_2=16$		$n_1=64, n_2=32$		$n_1=128, n_2=64$	
		PSNR (dB)	SSIM	PSNR (dB)	SSIM	PSNR (dB)	SSIM
SGD	2	29.54	0.9775	29.24	0.9761	29.23	0.9759
	3	27.60	0.9657	27.47	0.9648	27.44	0.9645
	4	26.17	0.9533	26.10	0.9526	26.12	0.9528
RMSprop	2	31.35	0.9851	31.73	0.9863	31.70	0.9858
	3	28.67	0.9724	28.89	0.9734	28.94	0.9740
	4	26.93	0.9613	27.05	0.9614	27.11	0.9617
Adam	2	31.78	0.9859	31.95	0.9863	32.18	0.9868
	3	28.74	0.9728	28.91	0.9735	29.01	0.9740
	4	27.04	0.9609	27.15	0.9618	27.23	0.9623
Adagrad	2	28.20	0.9700	29.87	0.9792	30.34	0.9812
	3	27.31	0.9636	27.85	0.9675	28.04	0.9688
	4	26.07	0.9522	26.47	0.9562	26.53	0.9567
Adamax	2	31.75	0.9858	31.87	0.9862	31.97	0.9864
	3	28.61	0.9723	28.77	0.9730	28.91	0.9736
	4	26.97	0.9605	27.05	0.9610	27.15	0.9617
Nadam	2	31.84	0.9861	32.00	0.9864	32.16	0.9867
	3	28.78	0.9731	28.90	0.9735	29.07	0.9744
	4	26.94	0.9603	27.14	0.9616	27.32	0.9628

Table 6. The average PSNR (dB) and SSIM values for all scales of 9-5-5 network structure on Set14 dataset

Optimizer Name	Scale	$n_1=32, n_2=16$		$n_1=64, n_2=32$		$n_1=128, n_2=64$	
		PSNR (dB)	SSIM	PSNR (dB)	SSIM	PSNR (dB)	SSIM
SGD	2	29.18	0.9758	28.95	0.9745	29.52	0.9775
	3	27.50	0.9650	27.43	0.9644	27.58	0.9656
	4	26.17	0.9531	26.13	0.9528	26.22	0.9535
RMSprop	2	31.50	0.9858	31.64	0.9861	31.98	0.9868
	3	28.64	0.9723	28.86	0.9738	28.97	0.9745
	4	27.03	0.9611	27.08	0.9617	27.16	0.9622
Adam	2	31.96	0.9863	32.12	0.9867	32.29	0.9871
	3	28.81	0.9731	29.00	0.9738	29.10	0.9743
	4	27.06	0.9611	27.21	0.9622	27.33	0.9630
Adagrad	2	29.83	0.9789	30.15	0.9804	31.06	0.9839
	3	27.87	0.9677	28.05	0.9688	28.20	0.9699
	4	26.32	0.9546	26.58	0.9571	26.77	0.9589
Adamax	2	31.72	0.9857	31.87	0.9861	32.07	0.9866
	3	28.54	0.9718	28.88	0.9734	29.02	0.9740
	4	26.97	0.9605	27.13	0.9615	27.23	0.9624
Nadam	2	31.79	0.9859	32.04	0.9865	32.30	0.9870
	3	28.89	0.9734	29.04	0.9739	29.13	0.9744
	4	27.09	0.9612	27.29	0.9626	27.35	0.9630

Table 7. Computational time analyses of 9-1-5 network structure on train dataset

Optimizer Name	Scale	$n_1=32, n_2=16$	$n_1=64, n_2=32$	$n_1=128, n_2=64$	Average Time (s)
		Time (s)	Time (s)	Time (s)	
SGD	2	145.90	230.02	401.69	259.01
	3	150.08	229.76	397.82	
	4	151.82	228.19	395.84	
RMSprop	2	148.92	231.85	401.93	260.90
	3	152.79	227.58	402.42	
	4	155.79	227.60	399.24	
Adam	2	149.86	231.59	403.26	262.22
	3	156.93	228.20	401.80	
	4	157.66	230.37	400.27	
Adagrad	2	150.76	230.96	397.86	262.41
	3	155.63	227.81	407.12	
	4	157.81	230.12	403.58	
Adamax	2	153.94	229.11	397.48	263.01
	3	153.62	229.51	407.28	
	4	159.20	229.26	407.72	
Nadam	2	154.33	232.70	407.87	266.81
	3	155.07	233.79	412.10	
	4	163.35	233.28	408.82	

Table 8. Computational time analyses of 9-3-5 network structure on train dataset

Optimizer Name	Scale	$n_1=32, n_2=16$	$n_1=64, n_2=32$	$n_1=128, n_2=64$	Average Time (s)
		Time (s)	Time (s)	Time (s)	
SGD	2	176.99	294.05	586.00	351,56
	3	182.59	295.97	583.27	
	4	183.38	287.34	574.47	
RMSprop	2	177.64	294.53	584.75	352,35
	3	184.22	295.20	583.53	
	4	184.81	290.65	575.85	
Adam	2	179.43	293.12	586.75	353,38
	3	186.27	296.13	583.23	
	4	186.66	292.70	576.15	
Adagrad	2	181.49	293.69	588.56	354,17
	3	186.23	298.55	587.32	
	4	187.40	290.83	573.44	
Adamax	2	180.30	296.39	586.33	352,89
	3	185.16	295.12	584.79	
	4	185.86	289.88	572.14	
Nadam	2	185.79	299.52	594.23	358,60
	3	189.40	302.69	587.99	
	4	195.34	294.89	577.55	

Table 9. Computational time analyses of 9-5-5 network structure on train dataset

Optimizer Name	Scale	$n_1=32, n_2=16$	$n_1=64, n_2=32$	$n_1=128, n_2=64$	Average Time (s)
		Time (s)	Time (s)	Time (s)	
SGD	2	243.04	383.45	656.42	425.25
	3	221.25	390.04	667.86	
	4	223.58	388.23	653.40	
RMSprop	2	219.46	387.74	666.06	425.78
	3	221.76	390.07	666.41	
	4	227.44	392.73	660.34	
Adam	2	225.17	391.21	668.70	428.76
	3	225.90	392.56	668.12	
	4	227.93	398.00	661.24	
Adagrad	2	219.66	387.49	670.07	427.34
	3	226.43	393.28	662.14	
	4	226.07	393.65	667.25	
Adamax	2	219.94	389.31	669.22	428.75
	3	226.61	396.66	663.42	
	4	229.79	398.00	665.81	
Nadam	2	224.41	394.87	673.96	432.43
	3	229.23	396.51	666.68	
	4	232.72	402.01	671.44	

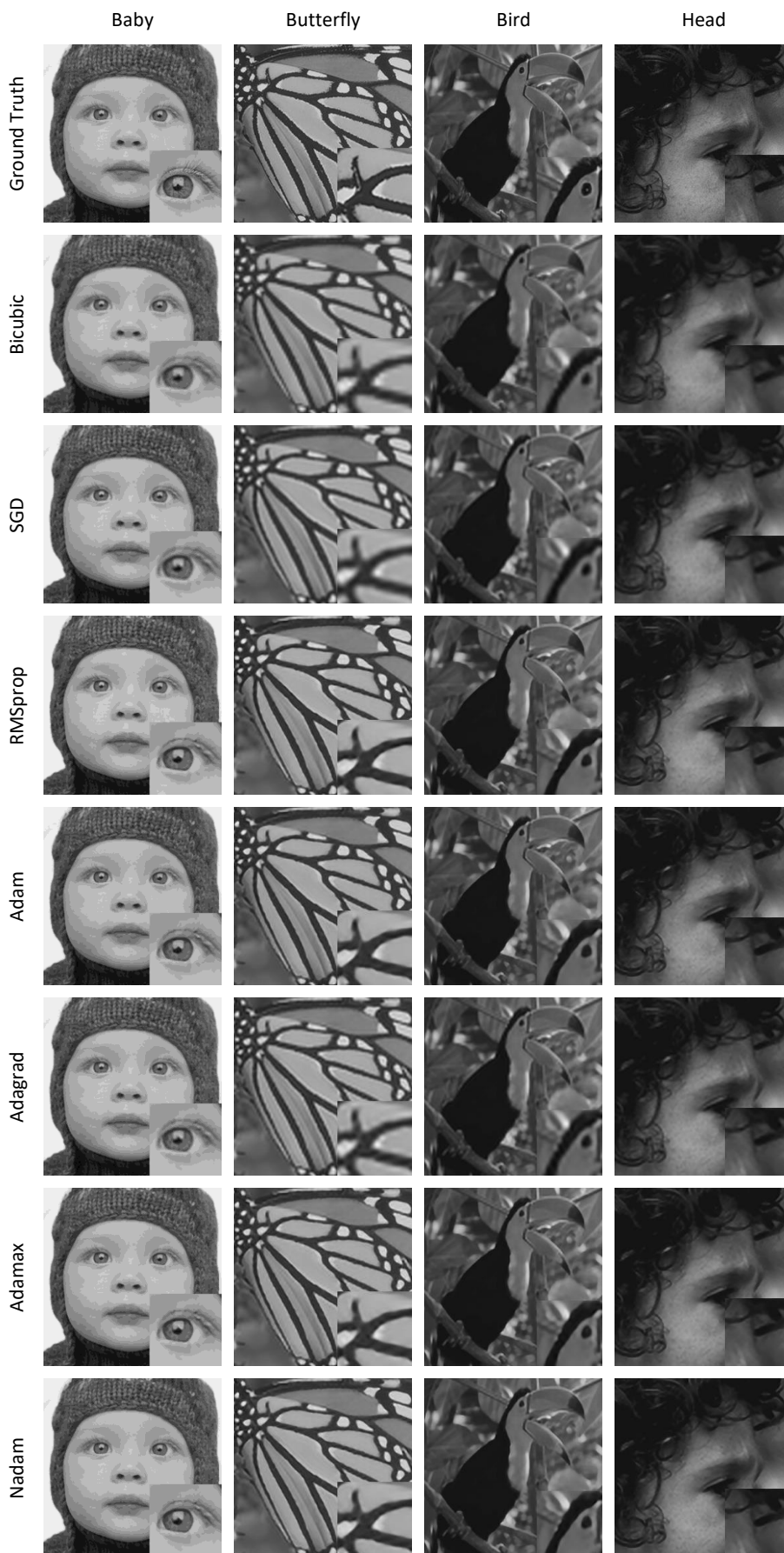


Figure 3. Visual results of 9-5-5 ($n_1=128, n_2=64$) for scale 3 on Set5.

5. References

- Anagun, Y., Isik, S. and Seke, E., (2019). SRLibrary: Comparing different loss functions for super-resolution over various convolutional architectures. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, **61**, 178-187.
- Anagün, Y., (2018). Düşük çözünürlüklü video sahnelerinden yüksek çözünürlüklü video sahnelerinin elde edilmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 75.
- Bevilacqua, M., Cunningham, A., Guillemot, C., et al., (2012). Low-complexity single-image super-resolution based on nonnegative neighbor embedding.
- Dong, C., Loy, C. C., He, K., et al., (2015). Image super-resolution using deep convolutional networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **38** (2), 295-307.
- Dong, C., Loy, C. C. and Tang, X. (2016). Accelerating the Super-Resolution Convolutional Neural Network, *European Conference on Computer Vision (ECCV)*.
- Dong, W., Zhang, L., Lukac, R., et al., (2013). Sparse representation based image interpolation with nonlocal autoregressive modeling. *IEEE Trans. Image Process*, **22** (4), 1382-1394.
- Dozat, T. (2016). Incorporating nesterov momentum into adam, ICLR Workshop, (1):2013–2016.
- Duchi, J., Hazan, E. and Singer, Y., (2011). Adaptive subgradient methods for online learning and stochastic optimization. **12** (7).
- Gao, X., Zhang, K. and Tao, D., (2012). Image Super-Resolution With Sparse Neighbor Embedding. *IEEE Trans. Image Process*, **21** (7), 3194-3205.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., et al. (2016). Deep residual learning for image recognition, *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Las Vegas, NV, USA.
- Kaveh, A. and Ezzatollah, S., (2017). Single-image super resolution using evolutionary sparse coding technique'. *IET Image Process.*, **11** (1), 13-21.
- Kim, J., Lee, J. K. and Lee, K. M. (2016). Accurate image super-resolution using very deep convolutional networks, *in IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Las Vegas, NV, USA.
- Kingma, D. P. and Ba, J., (2014). Adam: A method for stochastic optimization.
- Lai, W. S., Huang, J. B., Ahuja, N., et al., (2018). Fast and Accurate Image Super-Resolution with Deep Laplacian Pyramid Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **41** (11), 2599-2613.
- Ledig, C., Theis, L., Huszár, F., et al. (2017). Photo-Realistic Single Image Super-Resolution Using a Generative Adversarial Network, *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.
- Li, F., Bai, H. and Zhao, Y., (2020). Learning a Deep Dual Attention Network for Video Super-Resolution. *IEEE transactions on image processing*, **29**, 4474-4488.
- Lim, B., Son, S., Kim, H., et al. (2017). Enhanced Deep Residual Networks for Single Image Super-Resolution, *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, Honolulu, HI.
- Mandal, S., Bhavsar, A. and Sao, A. K., (2017). Noise adaptive super-resolution from single image via non-local mean and sparse representation. *Signal Processing*, **132**, 134-149.
- Marivani, I., Tsiligiani, E., Cornelis, B., et al., (2020). Multimodal Deep Unfolding for Guided Image Super-Resolution. *in IEEE Transactions on Image Processing*, **29**, 8443-8456.
- Ren, C., He, X. and Nguyen, T. Q., (2017). Single image super-resolution via adaptive high dimensional non-local total variation and adaptive geometric feature. *IEEE Trans. Image Process.*, **26** (1), 90-106.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E. and Williams, R. J., (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, **323** (6088), 533-536.
- Simonyan, K. and Zisserman, A. (2015). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition, *International Conference on Learning Representations 2015 (ICLR 2015)*.

- Tai, Y., Yang, J. and Liu, X. (2017). Image super-resolution via deep recursive residual network, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Honolulu, HI, USA.
- Tiantong, G., Hojjat, S. M. and Vishal, M., (2019). Adaptive Transform Domain Image Super-Resolution via Orthogonally Regularized Deep Networks. *IEEE transactions on image processing*, **28** (9), 4685-4700.
- Tieleman, T. and Hinton, G., (2012). Lecture 6.5-rmsprop: Divide the gradient by a running average of its recent magnitude. *COURSERA: Neural networks for machine learning*, **4** (2), 26-31.
- Tsai, R. Y. and Huang, T. S., (1984). Multiframe image restoration and registration. *Advances in Computer Vision and Image Processing*. JAI Press Inc., **1** (1), 317-339.
- Yan, Q., Xu, Y., Yang, X., et al., (2015). Single image superresolution based on gradient profile sharpness. *IEEE Trans. Image Process.*, **24** (10), 3187-3202.
- Yang, J., Wright, J., Huang, T., et al. (2008). Image super-resolution as sparse representation of raw image patches, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Anchorage, AK, USA.
- Yang, J., Wright, J., Huang, T. S., et al., (2010). Image super-resolution via sparse representation. *IEEE transactions on image processing*, **19** (11), 2861-2873.
- Yang, M. C. and Wang, Y. C. F., (2013). A self-learning approach to single image super-resolution. *IEEE Trans. Multimed.*, **15** (3), 498-508.
- Zeyde R., Elad M., and Protter M., (2010). On single image scale-up using sparse-representations. In Proceedings of the International Conference on Curves and Surfaces.
- Zhu, S., Zeng, B., Zeng, L., et al., (2016). Image interpolation based on non-local geometric similarities and directional gradients. *IEEE Trans. Multimed.*, **18** (9), 1707-1719.

Antarktika'da Küresel İklim Değişikliği İzleme için GNSS İstasyon Tasarımı: TUR1 ve TUR2 GNSS İstasyonlarının 4. Ulusal Antarktika Bilim Seferi'nde Antarktika Horseshoe Adası'na Kurulumu

Mahmut Oğuz SELBESOĞLU^{1*}, Hasan Hakan YAVAŞOĞLU², Mustafa Fahri KARABULUT³, Hüseyin Ayhan YAVAŞOĞLU⁴, Hüseyin Günhan ÖZCAN⁵, Özgün OKTAR², Burcu ÖZSOY², Himmet KARAMAN¹, Mustafa Ersel KAMAŞAK⁶, Vahap Engin GÜLAL⁷

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

² TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Kutup Araştırmaları Enstitüsü, Kocaeli.

³ Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

⁴ TÜBİTAK, Raylı Ulaşım Teknolojileri Enstitüsü, Robotik ve Akıllı Sistemler Bölümü, Kocaeli.

⁵ Yaşar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, İzmir.

⁶ İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

⁷ Atlas Üniversitesi, İstanbul.

*Sorumlu Yazar, e-posta: selbesoglu@itu.edu.tr,

hakan.yavasoglu@tubitak.gov.tr,

mfahri@yildiz.edu.tr,

huseyin.yavasoglu@tubitak.gov.tr,

huseyin.ozcan@yasar.edu.tr,

ozgun.oktar@tubitak.gov.tr,

burcu.ozsoy@tubitak.gov.tr,

karamanhi@itu.edu.tr,

kamasak@itu.edu.tr,

engin.gulal@atlas.edu.tr,

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1132-3978>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3139-4327>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8513-3475>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8145-719X>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8639-6338>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0188-6267>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4320-1796>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4923-3561>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5050-3357>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5397-3303>

Geliş Tarihi: 02.06.2021

Kabul Tarihi: 09.11.2021

Öz

Son yıllarda uzay tabanlı konumlama sistemleri, GNSS Meteorolojisi ve GNSS Reflektometresi teknikleri kullanılarak gözlemlenen atmosferik su buharı, deniz, buz ve kar seviyeleri gibi önemli parametrelerle küresel iklim değişikliğinin izlenmesinde etkili bir destekleyici araç haline gelmiştir. Küresel ölçekte tüm bölgelerden daha hızlı ısınan Antarktika'da iklim değişikliğini incelemek, gelecekteki iklim değişikliğini daha doğru tahmin etmek için çok önemlidir. Dünya'nın iklim değişikliği etkilerinin izlenebilmesi amacıyla, 118Y322 No'lu TÜBİTAK projesi kapsamında GNSS Meteorolojisi ve GNSS Reflektometresi teknikleri ile 24 Şubat 2020 tarihinden itibaren Antarktika'da atmosferik su buharı değişimleri, kar derinliği ve buz kalınlığı değişimleri gözlemlenmektedir. Bu çalışmada, Troposfer ve Deniz Seviyesi Gözlem İstasyonu (TUR1) ile Troposfer ve Kar / Buz Seviyesi Gözlem İstasyonunun (TUR2) tasarım çalışmaları ve 4. Ulusal Antarktika Bilim Seferi'nde Antarktika Horseshoe Adası'na kurulum aşamaları anlatılmıştır. Bu çalışmalar, meteorolojik koşullar, şebekeden bağımsız ve batarya ile bütünleşik enerji sisteminin en sağlıklı şekilde güneş ve rüzgâr enerjisinden beslenmesi ve bölgede oluşabilecek buz oluşumu ve kayaç parçalanması gibi jeolojik parametreler de göz önüne alınarak yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler

GNSS Meteorolojisi;
GNSS-R; Antarktika;
Troposfer; Buzul; Deniz
Seviyesi; Su Buharı

GNSS Station Design for Global Climate Change Monitoring in Antarctica: Installation of TUR1 and TUR2 GNSS Stations on Horseshoe Island in Antarctica During the 4th Turkish Antarctic Science Expedition

Keywords

Abstract

GNSS Meteorology;
GNSS-R; Antarctica;
Troposphere; Glacier;
Sea Level; Water Vapor

In recent years, space-based positioning systems have become an effective supporting tool for monitoring global climate change by important parameters such as atmospheric water vapor, sea, ice and snow levels observed by using GNSS Meteorology and GNSS Reflectometry techniques. Studying climate change in Antarctica, which is warming faster than all of the regions on a global scale, is very important to predict future climate change more accurately. In order to monitor climate change effects of the Earth, tropospheric water vapor variations, snow depth and ice thickness changes have been observing in Antarctica since 24 February 2020 by means of GNSS Meteorology and GNSS Reflectometry techniques within the scope of the TUBITAK Project No. 118Y322 In this study, designing studies of Troposphere and Sea Level Observation Station (TUR1) and Troposphere and Snow / Ice Level Observation Station (TUR2) and installation steps to Horseshoe Island in Antarctica during the 4th National Antarctic Science Expedition are explained. These studies was carried out by taking into account the meteorological conditions, the healthiest feeding of the off grid battery integrated energy system from solar and wind energy and geological parameters such as glacial formation and rock fragmentation that may occur in the region.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Dünya'nın doğal laboratuvarı olan Antarktika Kıtası, iklim değişikliklerinin gözlemlenmesi ve zaman içindeki evrimi ile yerel ve küresel değişimi anlamak ve tahmin etmek için oldukça önemli bir bölgedir. Bölge ve çevresinde gerçekleştirilen Jeodezi tabanlı bilimsel çalışmalarda, uzay ve yer tabanlı olmak üzere birçok gözlem tekniği kullanılmaktadır. Bu kapsamda, uydu sinyallerine dayalı olmak üzere mekânsal verinin üretilmesi, deniz seviyesinin izlenmesi, kar/buz kalınlıklarının takibi gibi çalışmalar yapılmaktadır (Selbesoglu vd. 2018). Bunlarla beraber, uzaktan algılama ile görüntüleme, hidrografik ölçmeler ve gravite ölçmeleri gibi yöntemlerden de faydalanılarak küresel iklim değişikliğinin etkilediği fiziksel parametrelerin izlenmesi gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla elde edilen sonuçlar, farklı disiplinlerin araştırmalarına da önemli bilgiler sunmakta ve bölgenin izlenmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Antarktika Araştırmaları Bilimsel Komitesinin (Scientific Committee on Antarctic Research - SCAR) oluşturduğu bilimsel grupların altında yer alan GNSS (Global Navigation Satellite System) Research and Application for Polar Environment (GRAPE) araştırma programı, GNSS ağı kurulumu ve koordinasyonu için uluslararası katılım ile oluşturulmuştur. Bu kapsamda, University NAVSTAR Consortium (UNAVCO) tarafından desteklenen kutup projeleri de yer almaktadır. Bu projelerde; Antarktika ve Arktik bölgelerinde olmak üzere GNSS ve sismik istasyonlarının kurulması, veri toplanması

ve bunların yanında bazı istasyonlarda manyetik alan belirleme, gravite ölçmelerinin yapılması ve mareograf verilerinin de toplanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda yapılacak bilimsel çalışmalar amacıyla POLENET (The Polar Earth Observing Network) ağı oluşturulmuştur. Bu ağda yer alan ve farklı projeler kapsamında kurulan GNSS istasyonları verilerinin değerlendirilmesi ile jeodinamik ve tektonik modelleme (Wu *et al.* 2006, Ye *et al.* 2014), buzul dinamiği çalışmaları (Thomas *et al.* 2011, Whitehouse *et al.* 2012), gravite çalışmaları (Li *et al.* 2019), atmosferin (troposfer ve iyonosfer) izlenmesi (Jayachandran *et al.* 2012, Li, F. *et al.* 2020, Li, H. *et al.* 2020, Wang *et al.* 2019) ve deniz seviyesinde (Tabibi *et al.* 2020) ve kıtada yer alan göllerin seviyesinde (Richter *et al.* 2014) meydana gelen değişimlerin belirlenmesi, kar ve buz kalınlık değişimlerinin belirlenmesi (Pinat *et al.* 2021) konularında çalışmalar yapılmakta, bu çalışmalar kıtanın geçmişi hakkında önemli bilgiler sunmakta ve kıtanın geleceği, dolayısıyla Dünya'nın geleceğine ışık tutmaktadır.

Bu çalışmalarda kullanılan istasyon tasarımları ve bileşenlerinin, çevresel koşullara bağlı olarak gözlem sonuçlarına etkisinin incelendiği çalışmalar da literatürde yer almaktadır (King *et al.* 2012, Koulali and Clarke 2020). Bu çalışmaların dışında, küresel iklim değişikliğinin izlenmesi için uzay tabanlı konumlama sistemleri ile yapılan bilimsel araştırmalar artarak devam etmektedir.

Antarktika bölgesinde ülkemizin yürüttüğü çalışmalar, T.C. Cumhurbaşkanlığı himayesinde, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı uhdesinde ve TÜBİTAK MAM Kutup Araştırmaları Enstitüsü (KARE) koordinasyonunda yapılan bilimsel seferlerle hızla gelişmeye devam etmektedir. Bu kapsamda 2017 yılında gerçekleştirilen Birinci Ulusal Antarktika Bilim Seferi (TAE-I) sonrasında oluşturulan Ulusal Kutup Bilim Programı (UKBP) (2018-2022) (Int Kyn. 1) çerçevesinde kıtada yapılacak bilimsel çalışmalara fon sağlanmaya, lojistik destek verilmeye ve düzenli seferler yapılmaya başlanmıştır.

UKBP kapsamında belirlenen öncelikli alanlar Fiziki Bilimler, Yer Bilimleri, Canlı Bilimleri ve Sosyal-Beşerî Bilimler olmak üzere 4 ana başlıktan oluşmaktadır. Bu bağlamda, Yer Bilimleri başlığı altında: Jeodezik Çalışmalar, Jeomorfoloji, Volkanoloji, Magmatizma-Jeodinamik, Deniz/Göl Jeolojisi ve Jeofiziği, Buzul Çalışmaları, Yapısal Jeoloji, Jeodinamik Modelleme, Sismoloj yer almaktadır (Int Kyn. 1). Bu çerçevede, açılan TÜBİTAK 1001 Kutup çağrılarını ile Antarktika kıtasında yapılacak bilimsel projeler belirlenmektedir.

118Y322 nolu ve “Antarktika Bölgesinde Troposfer ve Kar Derinliğinin/Kalınlığının GNSS Meteorolojisi ve GNSS-Reflektometresi Yöntemleri ile İzlenmesi” başlıklı TÜBİTAK projesi de bu kapsamda açılan çağrı ile desteklenmiştir. Bu çalışmada, Antarktika kıtası Horseshoe adası ve çevresinde, GNSS (Global Navigation Satellite System) Meteorolojisi tekniği ile atmosferik parametreler gözlemlenerek iklim değişikliği konusunda analizler yapılacaktır. Aynı zamanda, troposferik gecikme etkisinin elde edilmesinde kullanılan matematiksel ve ampirik modellerin (GPT2: Global Pressure and Temperature Model, UNB3M, VMF: Vienna Mapping Function, Niell Mapping Function, Saastamoinen Model vs.) araştırılması ve GNSS gözlemlerine getirilecek troposferik gecikme etkisinin hesabı gerçekleştirilecektir. Bununla birlikte, GNSS-Reflektometri (GNSS-R) tekniği ile kar/buz kalınlığı ve deniz seviyesi değişimi gibi bölgenin fiziksel karakteristiğini analiz etmede önemli parametreler izlenecektir. Ayrıca, kurulan sabit GNSS istasyonları ile bölgede oluşan tektonik deformasyonların

izlenmesi ve farklı disiplinlerin bölgede yapacakları proje ve çalışmaları desteklemek için veri sağlanacaktır.

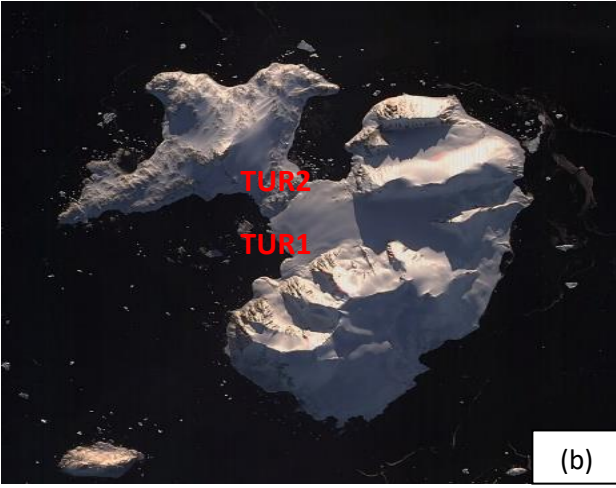
Bu çalışmada, TAE-4 seferi kapsamında Antarktika kıtası Horseshoe adasına kurulan 2 sabit GNSS istasyonunun kuruluş amacı, sistemin teknik detaylarının belirlenme süreci ve sefer süresince elde edilen verilerin ön sonuçlarından bahsedilecektir. Böylece, anılan bölgede diğer disiplinlerce yapılacak çalışmalar için kurulacak istasyonların hangi zorluklarla karşılaşabileceği ortaya konulabilecek, enerji, veri depolama ve iletimi gibi önemli kararların alınması kolaylaşacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Çalışma bölgesi

Çalışma bölgesi, Antarktika kıtasında, TAE seferlerinin yapıldığı ve sonrasında ülkemizin bilimsel üssüne ev sahipliği yapması planlanan Horseshoe Adasıdır. Yaklaşık olarak 67,83° Güney enlemi ve 67,24° Batı boylamında yer almaktadır (Şekil 1).





Şekil 1. (a) Antarktika (batı) yarımadası, (b) Çalışma alanı, Horseshoe adası, (1) TUR1 ve (2) TUR2'yi göstermektedir (Int Kyn. 2).

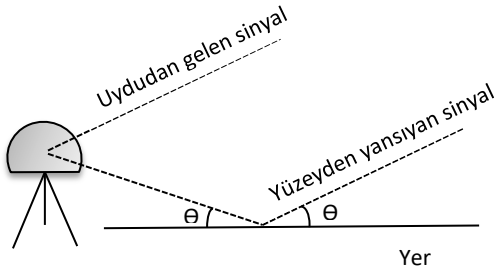
Çalışmanın gerçekleştirildiği alan, ulusal seferlerin bu adaya düzenlenmesi, ülkemiz üssünün yer alması planlandığı için bölgenin önem arz etmesi ve lojistik zorluklar göz önüne alınarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, çalışmanın temelini teşkil eden ve özgünlüğünü oluşturan GNSS-R tekniği ile deniz ve kar/buz seviyesi değişimlerinin belirlenmesi, GNSS Meteorolojisi tekniği ile troposferin izlenmesi (su buharı) ve tektonik deformasyon çalışmaları amacıyla bu bölgede henüz istasyon/istasyonlar kurulmamıştır (Selbesoğlu vd. 2018). Bu nedenle çalışma bölgesi, istasyonların kurulumu için uygun bir lokasyona sahiptir. Bununla birlikte, GNSS istasyonlarının enerji kaynağı için gerekli olan güneş panelleri ve rüzgâr türbinlerinin yön ve konumlarının hesapları için gereken yaklaşık değerlerin alınabileceği çevre istasyonlara komşuluk yapmaktadır. Arjantin'e ait San Martín istasyonu 35 km, Birleşik Krallık'a ait Rothera istasyonu 50 km ve Şili'ye ait Carvajal istasyonu ise 70 km (yaklaşık) mesafededir. İlerleyen bölümlerde, GNSS meteorolojisi ve reflektometresi teknikleri, GNSS istasyonu modelinin tasarım aşamaları ile sefer öncesi ülkemizde yapılan testleri ile Antarktika'ya kurulum süreci verilmiştir. Son bölümlerde ise, Antarktika gibi özel şartları olan bölgeler için tasarlanacak GNSS istasyonları için gerekli öneriler ve bulgular tartışılarak elde edilen tecrübelerin sonuçları irdelenmiştir.

2.2 GNSS sinyalleri ile küresel iklim değişikliğinin izlenmesi

GNSS sistemi, radyo dalgası gönderen aktif uydular ve bu uydulardan gelen sinyalleri toplayan donanımdan (anten ve alıcı) oluşan, Geomatik disiplinde son 40 yıldır efektif olarak kullanılan bir sistemdir. GNSS uydu sinyallerinin doğru sonuç vermesi için laboratuvar (vakum) ortamındaki gibi geometrik yol izlemesi ve gecikmemesi istenir. Buna karşın, GNSS sinyalleri gerek atmosfer içindeki farklı katmanlardan (iyonosfer ve troposfer) geçerken kırılarak ve/veya gerekse antene yakın yüzeyden ve yerden yansıyarak antene gecikmeli ulaşabilir. Bu istenmeyen durumlar GNSS ile konumlama çalışmalarında hata olarak kabul edilir ve düzeltilmesi yoluna gidilir. Son yıllarda ise, bu hata değerlerinin bir fonksiyonu olarak atmosferik parametre kestirimleri GNSS Meteorolojisi tekniği ve yansıyan yüzeylerdeki değişimler ise GNSS-R tekniği ile belirlenebilmektedir.

GNSS Meteorolojisi tekniği, troposferin izlenmesinde güvenilir, yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüklü bilgi üreten bir araç olarak kullanılmaktadır (Selbesoğlu 2017). GNSS gözlemleri kullanılarak, atmosferde en yoğun bulunan sera gazı olan su buharı miktarı, radyosonde sistemi gibi geleneksel yöntemlere göre yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlükle elde edilmektedir. Atmosferik su buharı, GNSS sinyallerinde yayılma gecikmesine neden olur ve buna ıslak troposferik gecikme denir. Troposfer gecikmesi, sinyal yolu boyunca integral alınarak hesaplanır ve çeşitli modellerle zenit doğrultusuna izdüşürülür. Örneğin Viyana İzdüşüm Fonksiyonu (Boehm *et al.* 2006), uydu tabanlı jeodezik uygulamaları için yaygın olarak kullanılmaktadır. PWV (Precipitable water vapor: Yoğuşabilir su buharı miktarı), ıslak troposfer gecikmesinin dönüşüm faktörü ile çarpımı ile elde edilir. Dönüşüm faktörü, troposferin ağırlıklı ortalama sıcaklığına (T_m) dayalı olarak hesaplanır (Bevis *et al.* 1992). T_m ise, yeryüzünde ölçülen sıcaklık değeri kullanılarak ampirik modeller yardımıyla hesaplanır. Bu modeller bölgesel anlamda analiz edilerek katsayılarının güncellenmesi, su buharı miktarı kestirim doğruluğunu artırmaktadır. Bu doğrultuda, çalışma

alanı için bölgesel katsayılar analiz edilerek su buharı elde etme doğruluğunun da artırılması hedeflenmiştir (Selbesoğlu vd. 2019a). Ayrıca, GNSS tekniği ile uzun dönemli olarak troposferik su buharı miktarı izlenerek küresel iklim değişikliğinde büyük rol oynayan sera gazı etkisi de araştırılacaktır. İklim değişikliği izleme çalışmaları kapsamında deniz seviyesi ve kar/buz seviyesi değişimleri, GNSS sinyallerinin yansımaya uğrayan kısmını kullanarak yansıdığı yüzey hakkında bilgi sunan ve son yıllarda önemi daha iyi anlaşılan bir teknik olan GNSS-R ile gerçekleştirilecektir (Şekil 2) (Martin-Neira 1993, Larson *et al.* 2013, Lee *et al.* 2019, Selbesoğlu vd. 2019b, Beşel ve Kayıkçı 2020).



Şekil 2. GNSS-R tekniği geometrik gösterimi.

Yansımaya uğrayan sinyalin gücünde, yansıma yüzeyine bağlı olarak ve/veya faz, frekans ve genlik modülasyonu nedeniyle ve/veya yükseklik açısına bağlı olarak dalgalanmalar görülür. Bu dalgalanmalara ait girişim deseni, kod, faz ve özellikle SNR - Sinyal Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio) ölçmelerinde görülür. Geomatik çalışmalarda kullanılan jeodezik alıcılar (Right Hand Circularly Polarised (RHCP)), doğrudan gelen sinyalleri ve yansıyan sinyallerin girişimlerini ölçmektedir. Bununla birlikte, yansıyan verileri daha belirgin kılan ve doğrudan gelen sinyal ile yansıyan sinyali ölçmek için tasarlanmış çift antenli (Right Hand Circularly Polarised (RHCP)) ve Left Hand Circularly Polarised (LHCP)) antenler de kullanılabilir (Larson *et al.* 2013, Santamaría-Gómez and Watson 2017).

Bu çalışma kapsamında kar/buz ve deniz seviyesi değişimleri, tesis edilen 2 farklı GNSS istasyonundan elde edilen gözlemlerle izlenecektir (Şekil 3-4). Yansıyan sinyali en iyi şekilde ölçmek için tasarlanan özel donanımlı çift anten yaklaşımıyla deniz seviyesi belirleme doğruluğunun nispeten daha yüksek olması

sebebiyle, TUR1 istasyonunda RHCP ve LHCP yapıda iki anten kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. TUR1 istasyonu.

Kar/buz seviye değişimlerinin deniz seviyesine göre daha yavaş olması ve sinyal yansıma karakteristiklerinden dolayı TUR2 istasyonunda ise RHCP yapıda tek anten kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. TUR2 istasyonu.

Her iki istasyonda deniz ve kar/buz seviyesi değişimlerinin kontrolü için akustik sensörler ile de ilgili veri grubu toplanmaktadır. Ayrıca atmosferik parametrelerin bölgesel olarak izlenmesi için TUR1 istasyonuna otomatik meteorolojik istasyonu kurulmuştur.

İstasyonlarda bulunan GNSS alıcı ve antenleri choke ring yapıda jeodezik antenler olup, GPS, GLONASS, GALILEO ve BEIDOU uydu sinyal verilerini 0,2 Hz frekansında kayıt etmektedir. Ultrasonik sensörler ise %0,4 doğrulukla yükseklik değişimini ölçmektedir. Yersel meteorolojik veriler (Global radyasyon, nispi nem, sıcaklık, basınç, rüzgâr hızı ve

yönü) ise 1 Hz frekansında ölçülmekte ve 10 dakikalık zaman periyodunda kayıt edilmektedir.

İlk veriler sefer dönüşüne geçilmeden hemen önce cihazlardan alınmıştır. TUR1 için 7 tam günlük TUR2 için ise 6 tam günlük veri seti elde edilmiştir. Elde edilen öncül sonuçlardan, GNSS verileri ile ultrasonik sensör verilerinin deniz seviyesi belirlemede uyumlu olduğu ve beklenen doğrulukta seviye değişimlerinin belirlenebildiği görülmüştür. Kar seviyesi değişimlerinin belirlenmesi ise, seferin son günlerinde yağın kar yağışı sayesinde test edilmiş, ultrasonik sensör ile ölçülen değişim ile GNSS-R tekniği sonuçlarının uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Selbesoğlu vd. 2021).

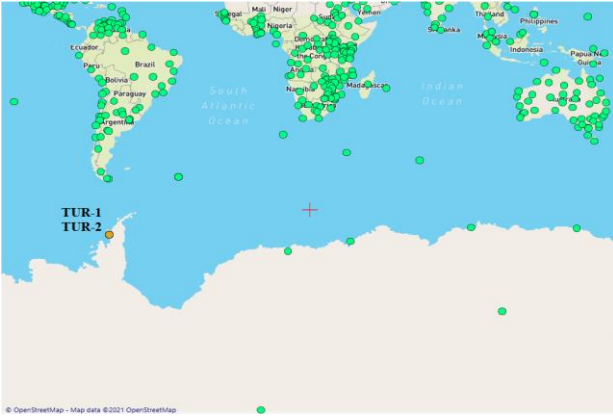
2.3 Antarktika'da GNSS istasyonu modeli ve kurulumu

2.3.1 Tasarım aşaması

Antarktika'da sürekli gözlem yapan GNSS istasyonu kurmak ve işletmek oldukça zahmetli, maliyetli ve iyi planlanması gereken bir çalışmadır. İklim özellikleri açısından zorlu koşullara sahip bir bölge olduğu için istasyonların enerji, dayanıklılık gibi gereksinimleri büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında kurmayı planladığımız istasyonlar için tasarım parametrelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu gereksinimler doğrultusunda, ideal tasarımı yapabilmek için kıtada daha önce yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Kutup bölgelerinde kurulacak istasyonlar hakkında detaylı bilgi veren "Remote Station Technology" (Int Kyn. 3) başlığının altında yer alan proje ve raporlar ile POLENET (The Polar Earth Observing Network) ağında yer alan istasyonlara ait bilgilerden yararlanılmış ve istasyonların tasarımları, bölgeye göre optimize edilerek geliştirilmiştir. İstasyonların tasarımında öncelikle enerji ihtiyacını ve elektronik sistem detaylarını ortaya koymak için kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. TUR1 ve TUR2 istasyonlarına ait enerji sistemi tasarımı sırasında öncelikle her bir istasyonun ihtiyaç duyduğu (tükettiği) enerji miktarı kullanılan ölçüm cihazlarına (GNSS alıcı, GNSS sensör, ultrasonik mesafe sensörü, meteoroloji istasyonu ve akü ped ısıtıcılar) ait adet, çalışma sıklığı ve çalışma gücü oranı dikkate alınarak belirlenmiştir.

Sistemin, solar radyasyon şiddeti ve rüzgâr hızına bağlı olarak en yüksek seviyede enerji kazanımı elde edebileceği lokasyon, adanın bölgesel topoğrafik haritası üzerinde yapılan analizler ile gerçekleştirilmiştir. Ulusal bilim seferlerimiz kapsamında yapılan yersel ölçmeler ve insansız hava aracı ile yapılan lazer tarama verileri de bu modelleme çalışmalarında kullanılmıştır. İstasyon konumlarının belirlenmesi çalışmalarında, enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması ile çalışmanın amaçları doğrultusunda deniz seviyesi ve kar/buz seviyesinin başarılı bir şekilde izlenebilmesi, ayrıca, istasyon bileşenlerinin de şiddetli hava koşullarından daha az etkilenmesi hususları dikkate alınmıştır.

Ardından, belirlenen istasyonların konumlarına ait (Bkz. Şekil 1) saatlik iklim veri grubu Meteororm programı kullanılarak üretilmiştir (Int Kyn. 4). Bu sırada Şekil 5 ile verildiği gibi paket program aracılığıyla kullanıcı tanımlı lokasyonlar oluşturulmuş ve bu lokasyonlara ait eğimli yüzeye düşen (15°) solar radyasyon şiddetinin (plane of array irradiation, POA) kuzey yönü için yıllık toplam değeri 1367 kWh/m^2 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, dış ortam havasına ait yıllık ortalama sıcaklık (T_n), rüzgâr hızı (v_r) ve rüzgâr yönü (γ_r) değerleri sırasıyla -4°C , $5,2 \text{ m/s}$ ve 233° olarak bulunmuştur. Tüm bu iklim veri grubunun üretilmesi esnasında yeşil renk ile gösterilen iklim istasyonları tarafından ölçülen değerlerden yararlanılarak kullanıcı tanımlı istasyonlara (TUR1 ve TUR2) ait indirgenmiş değerler bulunmuştur. Program kütüphanesinde 6200 farklı şehirde toplam 8325 iklim istasyonu yer almaktadır ve Şekil 5 ile görüleceği üzere bu istasyonlar Antarktika kıtasında 6, Güney Atlantik okyanusunda 2 ve Güney Amerika kıtasının güney uç noktasında 3 adettir. POA ölçümü 1991-2010 yılları arasında, geri kalan iklim veri grubu ölçümleri ise 2000-2009 yılları arasında gerçekleşmiştir.



Şekil 5. TUR1 ve TUR2 istasyonlarının Meteonorm programında tanımlanması.

Meteonorm programı ile üretilen iklim veri grubu etkisi altında solar FV (Fotovoltaik) paneller ve rüzgâr türbinleri tarafından üretilebilecek istasyonlara ait tüketimi karşılayabilecek enerji miktarı ise teorik olarak hesaplanmıştır. Bu esnada enerji depolama seçeneği de batarya kullanımı ile sisteme entegre edilmiştir. Rüzgâr türbinleriyle üretilebilecek enerji miktarı doğrudan üretici firmalar tarafından rüzgâr hızına karşılık sunulan performans grafikleri dikkate alınarak elde edilmiştir (Int Kyn. 5, Int Kyn. 6). Bu sırada türbinlerin devreye girme ve devreden çıkma hız aralığındaki değerler göz önünde bulundurulmuştur. Bunun neticesinde her bir istasyon için rüzgâr türbinleri ile yıllık toplam 400,4 kWh enerji üretimi potansiyelinin olduğu hesaplanmıştır. Solar FV teknolojisi ile üretilebilecek enerji miktarı ise aşağıda verilen eşitlik (1) kullanılarak 15° eğim açısı ve 180° azimut açıları altında hesaplanmıştır (Ozcan vd. 2019).

$$E_{PV} = \eta_{FV} \cdot N \cdot A \cdot POA \cdot PR \quad (1)$$

Eşitlik (1) de yer alan E_{PV} enerji üretimini (kWh), η_{FV} panel verimini, N panel sayısını, A panel alanını (m^2) ve PR performans oranını ifade etmektedir. Her iki istasyonda kullanılan panel adedi 2'dir ve her iki panel grubuna ait PR değeri DC/AC dönüşümü olmadığı için batarya kullanımı kaynaklı DC/DC dönüşümü göz önünde bulundurularak 0,9 alınmıştır. TUR1 ve TUR2 istasyonlarında kullanılan panellere ait A sırasıyla $0,99 m^2$ (Int Kyn. 7) ve $1,29 m^2$ dir (Int Kyn. 8). POA değeri bu bölümün başında anlatıldığı gibi Meteonorm programı kullanılarak üretilmiştir (Int Kyn. 4). Son olarak η_{FV} değeri

aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmiştir (Ozcan vd. 2019).

$$\eta_{FV} = \eta_{mp,ref} \cdot \left(\frac{1 - \mu_{mp} \cdot (T_{hüc} - T_{hüc,ref}) + \delta \cdot \ln\left(\frac{POA}{POA_{ref}}\right)}{\delta \cdot \ln\left(\frac{POA}{POA_{ref}}\right)} \right) \quad (2)$$

Eşitlik (2) de yer alan $\eta_{mp,ref}$ maksimum güç noktası referans panel verimini, μ_{mp} güç sıcaklık katsayısını ($\%/^\circ C$), $T_{hüc}$ hücre sıcaklığını ($^\circ C$), $T_{hüc,ref}$ referans hücre sıcaklığını ($^\circ C$), δ solar radyasyon katsayısını ve POA_{ref} referans solar radyasyon şiddetini (W/m^2) göstermektedir. Eşitlik (2) ile saha koşullarında meydana gelen sıcaklık ve solar radyasyon şiddetinin panel verimi üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur. Her iki istasyonda tekli kristalin panel kullanımından ötürü μ_{mp} 0,037 (URL-8), δ 0,052 (Slimani *et al.* 2017), $T_{hüc,ref}$ $25^\circ C$ ve POA_{ref} $1000 W/m^2$ alınmıştır. $T_{hüc}$ değeri ise aşağıda verilen Eşitlik (3) ile belirlenmiştir (D'Orazio *et al.* 2013).

$$T_{hüc} = T_h + k * POA \quad (3)$$

Eşitlik (3) de yer alan k Ross katsayısıdır ve Antarktika koşulları dikkate alındığında modülün iyi bir şekilde soğutulması durumu için 0,02 alınmıştır (Skoplaki and Palyvos, 2009). Eşitlik (3) ile saatlik elde edilen $T_{hüc}$ değerleri Eşitlik (2) de yerine konulduğunda yine Antarktika koşulları için sadece 28 ve 48 saat sırasıyla TUR1 ve TUR2 istasyonlarında $T_{hüc} > T_h$ olduğu görülmüştür. Bu sebeple sadece solar radyasyon şiddetinin panel verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bir başka ifade ile $\mu_{mp} \cdot (T_{hüc} - T_{hüc,ref})$ değeri sıfır alınmıştır. Tüm bu kabuller altında solar FV teknolojisi ile üretilebilecek yıllık enerji miktarı TUR1 istasyonu için 469,5 kWh, TUR2 istasyonunu için ise 606,1 kWh olarak hesaplanmıştır. TUR1 ve TUR2 istasyonlarında kullanılan ölçüm cihazlarına bağlı ortaya çıkan yıllık enerji tüketim değerleri sırasıyla 71,1 kWh ve 36,1 kWh bulunmuştur. Bu hesaplamalara göre, istasyonların toplam yıllık enerji ihtiyacının solar FV paneller ve rüzgâr türbinleri ile karşılanabileceği öngörülmüştür.

Enerji ve ölçüm sisteminin belirlenmesi sonrasında mekanik iskeletin tasarımı ve bileşenlerin seçimi çalışmalarında, daha önce benzer yapıda GNSS istasyonları olan UNAVCO'nun teknik çizimleri ve ekipman bileşenlerinden faydalanılmıştır. Kullanılan malzemeler, Antarktika bölgesindeki iklim şartlarına (nem, rüzgâr, soğuk) uygun bir şekilde olması amacıyla detaylı olarak araştırıldıktan sonra tespit edilmiştir. İskelet, bölge koşullarına dayanıklı olan s316L kodlu çelikten üretilmiştir. Bahsedilen koşullarda uygulanabilirlik analizleri yapılarak takribi 1 ay içinde sonuca ulaşılmıştır. Bu aşamada, Horseshoe Adası üzerinde lojistiğin zorlu şartlarda ve çoğunlukla insan gücüyle gerçekleşeceğini bildiğimizden dolayı, taşıyıcı iskelet ve direkler tamamıyla modüler bir yapıda tasarlanmış ve üretilmiştir. Bağlantı elemanları, geçme sistem içine 14 mm, 16 mm civatalar sabitlenecek şekilde tasarlanmış ve kilitlenmesi de özel somun yapıştırıcılarla her bir civataya çift somun montaj edilecek şekilde planlanmıştır. Bu sayede, yüksek rüzgâr hızına bağlı olarak oluşacak titreşimin bağlantıları zayıflatması olasılığı en aza indirgenmiştir. Antarktika bölgesinde kurulumu yapılacak bölge bazalt kaya formunda olduğundan düz bir yüzey bulunması oldukça zordur. Bu sebeple, iskeletin ve direklerin yere sabitlenmesi, alt ve üstten ayarlanabilir civata-somun elemanları ile sabitlenecek yapıda oluşturulmuştur (Şekil 6).



Şekil 6. Enerji sistemlerinin iskelet yapısı.

İstasyonların enerji birimleri ile elektronik alıcı ve regülatörlerle akülerinin muhafazası için askeri standartlarda üretilen, bölge koşullarına uygun ve MIL-STD-810G Çevre Testlerine göre test edilmiş taşıma sandıkları kullanılmıştır. Sandık içi izolasyon özel malzemelerle yapılmış ve -50°C değerine kadar dayanıklı konnektörler kullanılarak kablo çıkışları kutu dışına aktarılmıştır. Aynı zamanda, sistemde ısıtıcı pedler kullanılmış, sandık içi sıcaklığı ölçen termostata bağlı olarak iç sıcaklığı 0°C değerinin altına düşmesine izin vermemek üzere devrede kalması tasarlanmıştır. Termostatın arıza yapmasına karşın ikinci bir kontrolcü termostat yerleştirilmiş ve bu şekilde sistemin güvenilirliği artırılmıştır. Sistem içinin terleme yapmaması ve basınç regülasyonu amacıyla ise basınç valfli sandık tasarımı tercih edilmiştir. İstasyonların elektronik ve mekanik bileşenlerinin belirlenerek sistemin tasarlanması, 3 ay süren araştırmalar sonucunda gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, yüksek rüzgâr hızına dayanıklı ve Antarktika bölgesi için özel üretilen rüzgâr türbini, mekanik montaj için gerekli malzeme ile donanım ve özel üretim gereken ölçme sistemleri 2-3 ay sürede tedarik edilmiştir.

2.3.2 Test aşaması

Bu aşamada, tüm bileşenler bir araya getirilip (özel jel akü, solar FV paneller, rüzgâr türbinleri, regülatörler), elektriksel montajları yapılarak test çalışmalarına başlanmıştır. Bu çalışma kapsamında, GNSS alıcı, anten ve enerji sistemleri gerekli izinler alınarak İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Tuzla kampüsüne saha testi yapılması amacıyla tesis edilmiştir (Şekil 7a ve 7b). Test alanında rüzgâr hızı 72 kilometre/saat (km/s) seviyelerine kadar zaman zaman ulaşmış, genellikle de 20 ila 60 km/s dolaylarında seyretmiştir. Testler 2019 yılı Kasım ayından 2020 yılı Ocak ayına kadar devam etmiştir. Bu test çalışmalarında hava sıcaklığı bazı günlerde -2, -3 derece dolaylarına kadar düşmüştür. Sıcaklıklar, test aşamasının yapıldığı zaman diliminde -2 ile 12 derece aralığında değişmiştir. Bu sayede öncül testler farklı koşullar altında tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7. Tuzla, Denizcilik Fakültesi İTÜ kampüsüne sistemlerin kurulmuş hali **(a)** Enerji sistemleri ve GNSS antenleri, **(b)** Sinyal alıcı ünite ve akülerin bulunduğu sistem bileşenleri.

Çalışmalar kapsamında takribi 1 ay süreyle ölçümler kayıt edilmiş, iki günde bir olmak üzere sahada veri, enerji, kablo, mekanik aksam ve diğer bileşenlerin çalışır durumda olup olmadığı raporlanmıştır. Bu süreçte gerekli görülen müdahaleler yapılmış ve istasyonların Antarktika iklim şartlarında çalışabilmesi için kablo izolasyonu, yüksek dayanımlı bağlantıların revize edilmesi, kullanılan bazı civata ve malzemelerin s316L çelik ile değiştirilmesi ve soğuk iklim şartlarına göre izolasyonun iyileştirilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sisteme ait ultrasonik mesafe ölçerlerin, meteorolojik istasyonların, GNSS alıcılarının, sisteme enerji sağlayan akülerin, solar FV panellerin ve rüzgâr türbinlerin performansları test edilerek sistemin doğru bir şekilde çalışıp çalışmadığı izlenmiştir. Yapılan testler sonucunda sistemin enerji bileşenlerinin tasarımda öngörüldüğü şekliyle çalıştığı belirlenmiştir. Ayrıca, test aşamasında sistemin bütün detayları üzerinde çalışılmış (mekanik bağlantılar, elektrik bağlantıları, veri kayıt stratejileri, depolanan verilerin aktarımı),

istasyonların kurulumunu yapacak araştırmacıların karşılaşılabileceği sorunlara karşı bir iş akış planı oluşturulmuştur. Diğer yandan, Antarktika iklim koşullarının ağır olması ve buna bağlı olarak seferdeki çalışma günü sayısının değişkenlik gösterebilmesi sebebiyle sistemlerin kurulumu mümkün olan en kısa zamanda tamamlanması gerekmektedir. Bu amaçla, test aşamasında sistem kurulumu üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiş, özellikle enerji bileşenlerinin kurulumu tekrarlanarak tecrübe elde edilmiştir.

2.3.3 Antarktika, Horseshoe Adası'na kurulum aşaması

Antarktika bölgesinde sürekli bir enerji kaynağının bulunmadığı düşünüldüğünde, enerji sistemlerinin tüm bileşenlerinin bir araya getirilerek (özel jel akü, solar FV paneller ve rüzgâr türbinleriyle birlikte elektriksel montajlarının yapılması) tesis edilmesi son derece önemlidir. Bununla beraber, GNSS antenleri ile ultrasonik sensörlerin kurulum lokasyonu, denize olan mesafesi ve yerden yüksekliği, GNSS-Reflektometresi ve GNSS meteorolojisi yöntemleri ile deniz seviyesi ve kar/buz seviyesi değişimleri ile troposferik su buharı miktarlarını belirlemede önemli ölçütlerdir (Selbesoğlu vd. 2020). Meteorolojik istasyonun konumu ve yüksekliği de sıcaklık, basınç, nem, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, küresel radyasyon şiddeti ve yağış miktarı gibi parametreleri doğru ölçebilecek şekilde belirlenmelidir. Bu amaçla, 20 Şubat 2020 Perşembe günü istikşaf çalışmalarına başlanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. İstikşaf çalışmalarından görüntüler.

İstikşaf çalışmaları, tasarım aşamasında belirlenen konumları da içerecek şekilde bir araştırmayı kapsamaktadır. Bu amaçla, 2 istasyon için daha önceden belirlenen 6 farklı konum, kayaç yapıları, topoğrafik durum ve enerji sistemi için uygunluk koşullarına göre incelenmiştir. 2 gün süre ile gerçekleşen bu çalışmada, meteorolojik koşullar, şebekeden bağımsız enerji sisteminin en sağlıklı şekilde güneş ve rüzgâr enerjisinden beslenmesi ve bölgede oluşabilecek buzul oluşumu ve kayaç parçalanması gibi jeolojik parametreler de göz önüne alınarak yapılmıştır. TUR1 istasyonu için sağlam kayanın bulunması, aynı zamanda kuzey batı yani arkada kalan kara bölgesinin buzul oluşumundan sonra koparak ayrılmalarından etkilenmemesi için 3 ayrı konum ayrıntılı olarak incelenmiştir. TUR2 istasyonu için de 3 farklı konumda incelemeler yapılmış ve nihai konuma, meteorolojik koşullar, jeolojik yapı ve buzul izlenmesine elverişli bakış açısı parametreleri göz önüne alınarak karar verilmiştir. Bu aşamadan sonra, Antarktika Bölgesinde troposferdeki su buharı miktarı, deniz seviyesi değişimleri, kar ve buz seviyesi değişimleri izlenmesine olanak sağlayarak ülkemizi temsil edecek istasyonların kurulum çalışmaları başlamış ve 23 Şubat 2020 Pazar günü

TUR1 İstasyonu, 24 Şubat 2020 Pazartesi günü ise TUR2 İstasyonu Horseshoe Adasına tesis edilmiştir. İstasyonlardaki (TUR1 ve TUR2) rüzgâr türbini ve solar FV panellerinin ürettiği enerji her gün kontrol edilmiştir. Akü seviyesi her iki istasyon için de 3-4 gün içerisinde 14 volt gerilime ulaşmıştır. Enerji sistemlerimizin kontrolleri yapıldıktan sonra elektronik bağlantı şemasına göre bağlantılardaki gerilimler ayrı ayrı kontrol edilmiştir. Bu sayede her bir alıcı anten ve sensörde sürekli veri akışının sağlandığı belirlenmiştir. Ayrıca istasyonlardan her gün gemiye dönüş öncesi veriler bilgisayara aktarılmış ve gemide analizler yapılarak veri kalitesinde sorun olup olmadığı kontrol edilmiştir.

3. Bulgular

Bu çalışma kapsamında tasarlanan GNSS istasyonları ile meteoroloji istasyonu başarılı bir şekilde Antarktika, Horseshoe Adasına tesis edilmiş ve ilk veriler sefer dönüşüne geçilmeden hemen önce cihazlardan alınmıştır. Sefer dönüşü başlamadan son kontroller yapıldığında cihaz hafızalarına kayıt işleminin başarıyla devam ettiği görülmüştür. Öncül veriler ile yapılan analizlerde, TUR1 istasyonundan elde edilen 7 günlük GNSS-R tekniği sonuçlarının, ultrasonik sensör sonuçları ile yüksek doğrulukla uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber TUR1 istasyonunda, 7 gün boyunca su buharı miktarları da GNSS meteorolojisi tekniği ile belirlenmiş, meteoroloji istasyonundan alınan yağış miktarları ve TUR2 istasyonundan elde edilen 6 günlük su buharı miktarları ile karşılaştırılarak doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. TUR2 istasyonundan ultrasonik sensör vasıtasıyla elde edilen kar/buz yüksekliği değişimlerinin, GNSS-R tekniği ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. GNSS sinyalinin ıslak gecikme etkisi, Saastamoinen (1972) modeline dayalı olarak belirlenen kuru troposfer gecikmesinin toplam gecikmeden çıkarılmasıyla elde edilmiştir. Toplam troposferik gecikme miktarları ise, Bernese 5.2 bilimsel yazılımı kullanılarak elde edilmiştir (Dach *et al.* 2015). GNSS-R tekniği ile deniz ve kar seviye değişimlerinin tespiti, sinyal-gürültü oranı (SNR; Signal to Noise Ratio) tabanlı olarak yapılmıştır. Önümüzdeki seferler kapsamında kaydedilen verilerin alınması ile uzun dönemli

analizler yapılacak, mevsimsel ve yıllık değişimler de tespit edilerek daha anlamlı yorumlar ortaya konulabilecektir. Ayrıca, Antarktika, Horseshoe Adasına ilk kez kurulan ve özellikle böylesine zorlu doğa koşullarının olduğu bir bölge için ilk kez tasarlanan bileşenleri itibarıyla tüm istasyon yapılarının gelecek seferlerde izlenerek eksiklerinin belirlenmesi, oluşabilecek arızaların tespiti ve raporlanması ile bu konuda ulusal tecrübemiz daha da artacaktır. Özellikle Antarktika gibi uzak ve erişimi olmayan bölgeler için GNSS istasyonu, enerji sistemi ve mekanik tasarım gibi işlemlerin yapılması ve lojistiğinin sağlanarak sorunsuz halde tesis edilmesi için tüm koşulların düşünülmesi gerekmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

TUR1 ve TUR2 istasyonlarının Antarktika Horseshoe Adasına tesis edilmesi ile GNSS tabanlı tekniklerle küresel iklim değişikliklerinin izlenmesi için ülkemiz adına ilk adım atılmıştır. Bu kapsamda, GNSS meteorolojisi ve GNSS reflektometresi teknikleri ile elde edilecek parametrelerin, Antarktika bölgesinin iklimsel karakteristiğini ortaya koymak için katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu tekniklere dayalı olarak istasyonlardan elde edilecek uzun dönemli veriler ile Antarktika'da meydana gelen su buharı değişimleri, kar/buz kalınlık değişimleri, buzulların yer değiştirmeleri ve deniz seviyesi değişimleri izlenerek iklim değişimleri takip edilebilecektir. Ayrıca, GNSS istasyonlarının küresel dağılımı Antarktika bölgesinde zayıf olup, kurulan istasyonlar ile dağılımın iyileştirilmesine katkı sağlanarak buzullardaki değişimler, tektonik hareketler ve meteorolojik çalışmaların daha homojen dağılımlı veriler ile gerçekleştirilebileceği öngörülmektedir. Aynı zamanda bu istasyonlar, GNSS gözlemleri ile hassas ve yüksek doğrulukla konumlama yeteneğine sahip olup, bu bölgede yapılacak batimetrik haritalama, jeolojik ve jeofizik alanında yapılacak çalışmalar, gerçek zamanlı konumlama, navigasyon, coğrafi bilgi sistemi çalışmaları ve tektonik hareketlerin izlenmesi gibi konulara da oldukça önemli bilgiler sağlayabilecektir. Bu amaçlarla Antarktika'ya kurulan istasyonlar, tamamıyla yerli ve milli bir tasarıma sahip olup, kurulduğu bölge ve izlenen parametreler itibarıyla de öncül bir

çalışmadır. Bununla beraber, proje kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların sonucu olarak, istasyonların tasarımından kurulumuna kadar milli olarak gerçekleştirilebilme kabiliyetimiz anlaşılmalıdır.

Teşekkür

Yazarlar, T.C. Cumhurbaşkanlığı himayelerinde, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı uhdesinde, TÜBİTAK MAM KARE koordinasyonunda düzenlenen Ulusal Antarktika Bilim Seferine teşekkürlerini sunar. Yazarlar, cihazların temini ve tasarımı aşamalarında destekleri için GNSS Harita Tek. Dan. San. Ve Tic. A.Ş' ne, Devimsel Elektronik, Mekatronik ve Bilişim Teknolojileri Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.' ne ve Mimar İbrahim Direk' e teşekkür ederler. Çizimler serbest lisanslı yazılımlarla üretilmiş olup akademik çalışmalara ücretsiz destek vermektedir.

5. Kaynaklar

- Beşel, C. ve Kayıkcı, E., T., 2020. Türkiye denizlerinde GNSS reflektometre tekniği ile deniz seviyesi değişiminin araştırılması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 8, 1, 1-17.
- Bevis, M., Businger, S., Herring, T. A., Rocken, C., Anthes, R. A. and Ware, R. H., 1992. GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 97(D14), 15787-15801.
- Boehm, J., Werl, B. and Schuh, H., 2006. Troposphere mapping functions for GPS and very long baseline interferometry from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts operational analysis data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B2).
- Dach, R., S. Lutz, P. Walser, P. Fridez (Eds); 2015: Bernese GNSS Software Version 5.2. User manual. *Astronomical Institute, University of Bern, Bern Open Publishing*. DOI: 10.7892/boris.72297; ISBN: 978-3-906813-05-9.
- D'Orazio, M., Di Perna, C. and Di Giuseppe, E., 2013. Performance assessment of different roof integrated photovoltaic modules under Mediterranean Climate. *Energy Procedia*, 42, 183-192.
- Jayachandran, P., Hosokawa, K., Shiokawa, K., Otsuka, Y., Watson, C., Mushini, S., MacDougall, J.W., Prikryl, P., Chadwick, R. and Kelly, T. 2012. GPS total electron content variations associated with poleward moving Sun-aligned arcs. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 117(A5).
- King, M. A., Bevis, M., Wilson, T., Johns, B. and Blume, F., 2012. Monument-antenna effects on GPS coordinate

- time series with application to vertical rates in Antarctica. *Journal of Geodesy*, **86(1)**, 53-63.
- Koulali, A. and Clarke, P., 2020. Effect of antenna snow intrusion on vertical GPS position time series in Antarctica. *Journal of Geodesy*, **94(10)**, 1-11.
- Larson, K. M., Löfgren, J. S. and Haas, R., 2013. Coastal sea level measurements using a single geodetic GPS receiver. *Advances in Space Research*, **51(8)**, 1301-1310.
- Lee, C. M., Kuo, C. Y., Sun, J., Tseng, T. P., Chen, K. H., Lan, W. H., Shum, C. K., Ali, T., Ching, K. E., Chu, P. and Jia, Y., 2019. Evaluation and improvement of coastal GNSS reflectometry sea level variations from existing GNSS stations in Taiwan. *Advances in Space Research*, **63(3)**, 1280-1288.
- Li, F., Zhang, Q., Zhang, S., Lei, J. and Li, W., 2020. Evaluation of spatio-temporal characteristics of different zenith tropospheric delay models in Antarctica. *Radio Science*, **55(5)**, 1-16.
- Li, M., Xu, T., Lu, B., & He, K., 2019. Multi-GNSS precise orbit positioning for airborne gravimetry over Antarctica. *GPS solutions*, **23(2)**, 1-14.
- Li, H., Wang, Z., Cui, X., Guo, J., Li, L. and Sun, B., 2020. The effect of the second-order ionospheric term on GPS positioning in Antarctica. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, **52(1)**, 210-221.
- Martin-Neira, M., 1993. A passive reflectometry and interferometry system (PARIS): Application to ocean altimetry. *ESA journal*, **17(4)**, 331-355.
- Ozcan, H. G., Gunerhan, H., Yildirim, N. and Hepbasli, A., 2019. A comprehensive evaluation of PV electricity production methods and life cycle energy-cost assessment of a particular system. *Journal of Cleaner Production*, **238**, 117883.
- Pinat, E., Defraigne, P., Bergeot, N., Chevalier, J.-M., & Bertrand, B., 2021. Long-Term Snow Height Variations in Antarctica from GNSS Interferometric Reflectometry. *Remote Sensing*, **13(6)**, 1164.
- Richter, A., Popov, S. V., Fritsche, M., Lukin, V. V., Matveev, A. Y., Ekaykin, A. A., Lipenkov, V. Y., Fedorov, D. V., Eberlein, L., Schröder, L., Ewert, H., Horwath, M., and Dietrich, R., 2014. Height changes over subglacial Lake Vostok, East Antarctica: insights from GNSS observations. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, **119(11)**, 2460-2480.
- Santamaría-Gómez, A. and Watson, C., 2017. Remote leveling of tide gauges using GNSS reflectometry: case study at Spring Bay, Australia. *GPS solutions*, **21(2)**, 451-459.
- Saastamoinen, J., 1972. Contributions to the theory of atmospheric refraction. *Bulletin Géodésique* (1946-1975), **105(1)**, 279-298.
- Selbesoglu, M. O. (2017). Evaluation of Precipitable Water Vapor Derived From Global Navigation Satellite System Observations based on Troposphere Model. *Feb-Fresenius Environ. Bull*, **26**, 3924-3929.
- Selbesoglu, M. O., Yavasoglu, H. H., Karabulut, M. F., Gulal, V. E., Karaman, H. and Kamasak, M. E., 2018. Gns Meteorolojisi ve Reflektometresi Teknikleri ile Antarktika Bölgesinin Troposfer ve Kar Kalınlığının İzlenmesi, Deformasyonların Belirlenmesi. 2. Kutup Bilimleri Çalıştayı, 22-23, 12 - 13 Eylül, İstanbul.
- Selbesoglu, M. O., Yavasoglu, H. H., Karabulut, M. F., Gulal, V. E., Karaman, H. and Kamasak, M. E., 2019a. Gns-Meteorolojisi ve Gns-Reflektometresi Teknikleri ile Antarktika Bölgesinin Troposfer ve Kar Kalınlığının İzlenmesi, Geliştirme Çalışmaları. 3. Ulusal Kutup Bilimleri Çalıştayı, 48-49, 5-6 Eylül, Ankara.
- Selbesoglu, M. O., Yavasoglu, H. H., Karabulut, M. F., Gulal, V. E., Karaman, H. and Kamasak, M. E., 2019b. Monitoring the water vapor, snow/ice and sea level changes in the Antarctica with GNSS Meteorology and GNSS Reflectometry Techniques. *XXIX International Symposium On: "Modern Technologies, Education And Professional Practice In Geodesy And Related Fields*, 21, 05 – 06 November, İstanbul.
- Selbesoglu, M. O., Yavasoglu, H. H., Karabulut, M. F., Gulal, V. E., Oktar, O., Ozsoy, B., Karaman, H. and Kamasak, M. E., 2020. Troposfer ve Deniz / Buz Seviyesi Reflektometresi Gözlem İstasyonlarının 4. Türkiye Antarktik Bilim Seferi Kapsamında Antarktika Horseshoe Adası'na Kurulumu. 4. Ulusal Kutup Bilimleri Çalıştayı, 207-208, Online, 22-23 Ekim.
- Selbesoglu, M. O., Yavasoglu, H. H., Karabulut, M. F., Gulal, V. E., Karaman, H., Kamasak, M. E., Oktar, O., and Ozsoy, B., 2021. Ground-Based GNSS Meteorology and Reflectometry Studies on Horseshoe Island during the 4th National Antarctic Science Expedition of Turkey: Installation and configuration of sea/ice level and water vapor monitoring stations. EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-15952.
- Skoplaki, E. J. A. P. and Palyvos, J. A., 2009. Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations. *Renewable energy*, **34(1)**, 23-29.

Slimani, M. E. A., Amirat, M., Kurucz, I., Bahria, S., Hamidat, A. and Chaouch, W. B., 2017. A detailed thermal-electrical model of three photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid air collectors and photovoltaic (PV) module: Comparative study under Algiers climatic conditions. *Energy conversion and management*, **133**, 458-476.

5-<https://www.prolectric.fr/micro-turbines/micro-turbine-forgen-v30-antarctique/>, (22.02.2021)

6-<https://www.istabreeze.com.tr/online/Ruzgar-Turbini/i500-12V-Ruzgar-Turbini-iSTA-BREEZE>, (22.02.2021)

Tabibi, S., Geremia-Nievinski, F., Francis, O. and van Dam, T., 2020. Tidal analysis of GNSS reflectometry applied for coastal sea level sensing in Antarctica and Greenland. *Remote sensing of environment*, **248**, 111959.

7-<https://www.enerjipazar.com/solar-gunes-panelleri/perc-monokristal/190-watt-monokristal-gunes-paneli-5-busbar-perc-hucre/>, (23.02.2021)

Thomas, I. D., King, M. A., Bentley, M. J., Whitehouse, P. L., Penna, N. T., Williams, S. D., Riva, R.E.M., Lavallee, D.A., Clarke, P.J, King, E.C., Hindmarsh, R.C.A. and Kouvila, H., 2011. Widespread low rates of Antarctic glacial isostatic adjustment revealed by GPS observations. *Geophysical research letters*, **38(22)**.

8-https://www.sharp.com.tr/cps/rde/xbcr/documents/documents/Marketing/Datasheet/1611_NQR256A_Mono_BackContact_Datasheet_TR.pdf, (23.02.2021)

Wang, J., Wu, Z., Semmling, M., Zus, F., Gerland, S., Ramatschi, M., Ge, M., Wickert, J. and Schuh, H., 2019. Retrieving precipitable water vapor from shipborne multi-GNSS observations. *Geophysical research letters*, **46(9)**, 5000-5008.

Whitehouse, P. L., Bentley, M. J., Milne, G. A., King, M. A. and Thomas, I. D., 2012. A new glacial isostatic adjustment model for Antarctica: calibrated and tested using observations of relative sea-level change and present-day uplift rates. *Geophysical Journal International*, **190(3)**, 1464-1482.

Wu, X., Heflin, M. B., Ivins, E. R. and Fukumori, I., 2006. Seasonal and interannual global surface mass variations from multisatellite geodetic data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B9).

Ye, L., Lay, T., Koper, K. D., Smalley Jr, R., Rivera, L., Bevis, M. G., Zakrajsek, A. F. and Teferle, F. N., 2014. Complementary slip distributions of the August 4, 2003 Mw 7.6 and November 17, 2013 Mw 7.8 South Scotia ridge earthquakes. *Earth and Planetary Science Letters*, 401, 215-226.

İnternet kaynakları

1-https://kare.mam.tubitak.gov.tr/sites/images/kare_mam/ulusal_kutup_bilim_programi.pdf, (18.02.2021)

2-<https://blog.gezgin.gov.tr/?p=2002>, (20.02.2021)

3-<https://www.unavco.org/projects/project-support/polar/remote/remote.html>, (21.02.2021)

4-<https://meteonorm.com/en/>, (22.02.2021)

Afyon Akşehir Grabeninde Jeodezik Yamulma Alanları ile b Parametresi Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

Tolga TOYDEMİR^{1,2}, İbrahim TIRYAKIOĞLU^{2,4*}, Tamer BAYBURA², Mehmet Ali UĞUR², Halil İbrahim SOLAK⁴

¹ Afyon AKSA doğalgaz Afyonkarahisar.

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

³ Afyon Kocatepe Üniversitesi Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi, Afyonkarahisar.

⁴ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksekokulu, Afyonkarahisar.

Sorumlu yazar e-posta: itiryakioglu@aku.edu.tr

tolgatoydemir03@gmail.com

tbaybura@aku.edu.tr

maliugur@aku.edu.tr

hibsolak@aku.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4954-7109>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8164-534X>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9067-2964>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2741-900X>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5286-0369>

Geliş Tarihi: 27.09.2021

Kabul Tarihi: 29.11.2021

Öz

Anahtar kelimeler

Afyon Akşehir Grabeni;
GNSS; GAMIT/GLOBK;
B parametre; Yamulma
alanı

Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS) Batı Anadolu genişleme bölgesinde yer almakta olup en önemli sismojenik kuşaklardan biridir. Sistem içerisinde yer alan oblik/eğim atımlı normal fay segmentlerinden dolayı çok sayıda horst ve graben türü yapılar bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında ASFS'nin Afyon-Akşehir Grabeni (AAG) kısmında 27 noktalık bir GNSS ağı kurulmuş ve 2012-2018 yılları arasında 5 kampanya GNSS ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler GAMIT/GLOBK yazılımı değerlendirilmiş ve tüm noktaların Avrasya plakası sabit hızları hesaplanmıştır. Hız alanı kullanılarak, GEODSUIT yazılımı bölge yamulma alanları (strain) hesaplanmış ve sonuçlar deprem verileri yardımıyla hesaplanan b parametreleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular 2002 Çay-Eber depremlerinden sonra bölgenin batısına doğru jeodezik yamulmaların arttığını göstermektedir.

The Determination of Relations between Geodetic Strain Field and b Parameter in Afyon Akşehir Graben

Abstract

Keywords

Afyon Akşehir Graben;
GNSS; GAMIT/GLOBK;
B parameter; Strain
Field

Akşehir-Simav Fault System (ASFS) is one of the most important seismojenic zones in the Western Anatolia Extensional Zone. Because of oblique-slip normal fault segments, it contains many parallel horst and graben type structures. This study was carried out with GNSS measurements obtained from 27 GNSS points established in the Afyon-Akşehir Graben (AAG) part of ASFS. GNSS measurements were carried out as 5 campaigns between 2012 and 2018. As a result of the evaluation of the GNSS data using GAMIT/GLOBK software, the velocity vectors fixed to Eurasian plate of the sites were calculated. The strain rates computed with GEODSUIT software, and the b parameters calculated using earthquake data. Based on the comparisons of the strain rates and b parameters, the study results show that after the 2002 Çay Eber earthquakes, the geodetic strains increased towards the west of the region.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Batı Anadolu Genişleme Bölgesi içerisindeki önemli sismojenik zonlardan birisi Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS)'dir. ASFS Kuzeybatı-Güneydoğu (KB-GD) gidişli olup birçok sayıda aktif normal fay zonları içermektedir. Bu fay zonları, güneydoğudan kuzeybatıya doğru Konya, Afyon-Akşehir, Sinanpaşa (Sincanlı), Altıntaş, Ağaçoğru, Gediz, Simav ve Sındırgı grabenlerinin oluşumlarına neden olmuşlardır

(Koçyiğit ve Deveci, 2007). Tarihsel ve aletsel dönemde deprem kayıtları incelendiğinde bölgede yüzey kırığı oluşturmuş depremlerin olduğu görülmüştür. ASFS'nin güneydoğu bölümünde yer alan Afyon-Akşehir Grabeni (AAG) içinde son olarak 03 Şubat 2002 tarihinde Bolvadin ve Eber Gölü güneyinde Moment Büyüklüğü (Mw) 6.5 ve 6.2 olan iki deprem meydana gelmiştir (Url 2). Bu depremlerden sonra bölgede jeolojik çalışmaların

yoğunlaştığı görülmüştür (Emre vd. 2003, Özden vd. 2003, Yürür vd. 2003, Ulusay vd. 2004, Akyüz vd. 2006). Akyüz vd. 2006 da Maltepe ve Çay bölgelerinde deprem yüzünden oluşan kırıkların haritalanması ve 2002 depremlerini üreten fayların segmentlerinin deprenselliği tartışılmıştır. Bölgede yapılan paleosismoloji çalışmaları kapsamında Maltepe ve Çay segmentleri üzerinde açılan hendeklerde 2002 depremine benzer düşey tımlara sahip deprem izleri gözlemlenmiştir (Akyüz vd. 2006). Demirtaş vd. (2002) ve Koçyiğit vd. (2002)'de yaptıkları çalışmada Akşehir Sultandağı fay zonunda kuzeybatıya doğru olan deprem göçünün, Afyonkarahisar ili ve yakın çevresindeki sismik boşluğa doğru ilerleyebileceğini belirtmişlerdir. Koçyiğit vd. (2002) ve Aktuğ vd. (2010)'da 03.02.2002 Sultandağı depreminin merkez üssünün Eber ve Akşehir Gölleri arasında olduğunu göstermişlerdir.

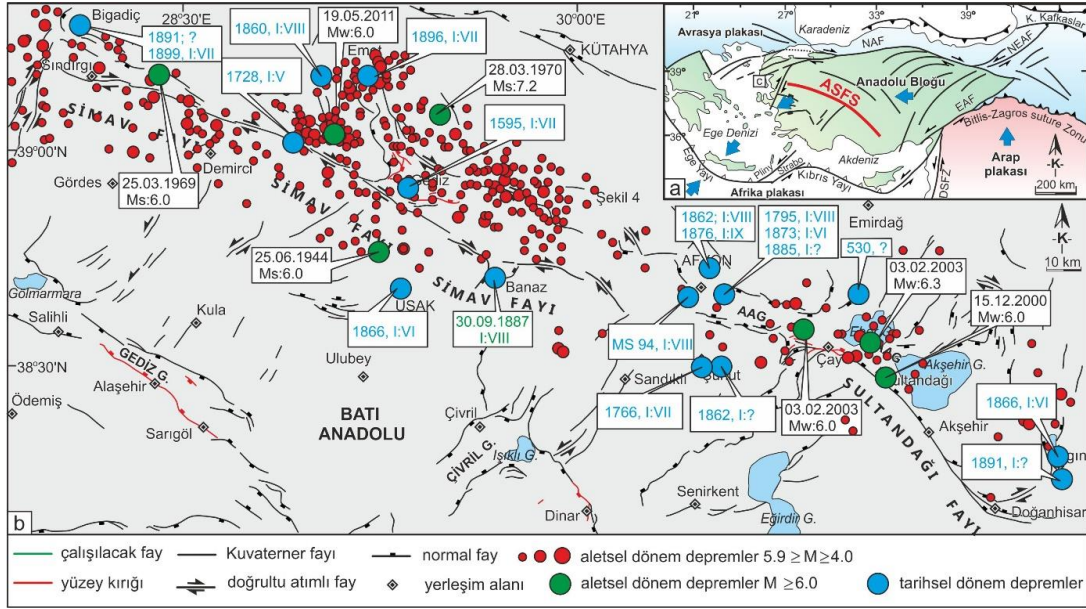
Jeodezik anlamda deformasyon çalışmaları genellikle köprü, baraj ve mühendislik yapıları üzerinde yoğunlaşsa da, 1990 yıllarında başlarında GNSS teknolojilerinin deformasyon çalışmalarında kullanılmaya başlanması yerbilimleri için bir dönüm noktası olmuştur (Erdoğan 2007, Erdoğan ve Gülal 2009, 2013, Erdoğan 2012, Yiğit vd. 2016). 2000'li yılların başları ile birlikte tektonik hareketlerin modellenmesi çalışmalarında GNSS ve Sabit GNSS teknolojileri yaygın biçimde kullanılmaya başlamıştır (Erdoğan vd. 2008, Gülal vd. 2013a,2013b, Tiryakioğlu vd. 2015, Gülal vd. 2015, Tiryakioğlu vd. 2017, Poyraz 2015, Poyraz vd.2019). Bölgede yapılan jeodezik çalışmalarda AAG üzerinde bulunan fayların kayma hızlarını yıllık 2.9 mm (genişleme/açılma) hesaplamışlardır (Aktuğ vd. 2009, Duman vd. 2018). Tiryakioğlu vd. (2018)'de AAG çevresinde yapılan GNSS ölçülerinden hesapladıkları yamulma değerleri ile paleostres verilerini karşılaştırmış ve yamulma yönlerinde büyük oranda benzerlik görülmüştür.

Bu çalışmada AAG üzerinde Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü (BAPK) (14.FEN.BIL.22) tarafından desteklenen araştırma projesi kapsamında bölgede 2012 yılında kampanya tipi 15 nokta içeren bir GNSS

ağı kurulmuştur. Daha sonra 2016 yılında TUBİTAK 115Y246 No'lu proje kapsamında ağ genişletilerek 27 noktada 2012-2018 yılları arasında 5 kampanya GNSS ölçüleri yapılmıştır. GNSS ölçüleri yardımıyla hesaplanan yamulma alanları ile b parametreleri karşılaştırılmış ve düşük b parametresi olan yerlerde genel olarak büyük yamulma değerleri hesaplanmıştır.

2. Çalışma Bölgesinin Deprenselliği ve Sismik Tehlike

ASFS'nin güneydoğu bölümünde yer alan Afyon-Akşehir grabeni (AAG), kuzeydoğusunda Orta Anadolu ile güneybatısında Isparta açısını birbirinden ayıran sınırlara sahiptir (Blumenthal 1963, Tiryakioğlu vd. 2013). KB-GD uzanımlı, olan AAG yaklaşık 20 km genişliğinde, 130 km. uzunluğundadır (Koçyiğit, 1984, Koçyiğit vd. 2000, Koçyiğit ve Özacar 2003). AAG'nin güney kenarında 90 km uzunluğunda Sultandağı fayı bulunmaktadır. Eğim atımlı normal fay olan Sultandağı fayı Çay ile Doğanhisar arasında takip edilebilir (Şekil 1). Tarihsel ve aletsel dönem boyunca, ASFS içerisinde çok sayıda yıkıcı deprem meydana geldiği bilinmektedir (Şekil 1) (Ergin vd. 1967, Soysal vd. 1981, Ambraseys ve Finkel 1995, Tan vd. 2008, Int.Kyn.2). Bölgede tarihsel dönemde depremlerin M.S. 94 ASFS boyunca meydana geldiğine görülmüştür (Şekil 1). Aletsel dönemde meydana gelen depremler ve Wells and Coppersmith (1994)'in yüzey kırılma uzunluğu ile deprem büyüklüğü arasındaki bağıntıya göre Sultandağı fayı 6.73 büyüklüğüne sahip deprem üretme potansiyeline sahiptir (Duman vd. 2018). AAG içerisinde aletsel dönemde son olarak Sultandağı depremi (Mw: 6.0), ve 03.02.2002 Çay depremleri (Mw: 6.3 ve 6.0) sistemin günümüzde de aktif olduğunu göstermiştir. Bununla beraber, deprem çözümleri incelendiğinde bu depremlerin eğim atımlı normal faylar üzerinde meydana geldikleri görülmüştür. (Taymaz ve Tan 2001, Koçyiğit ve Devci 2007, Özkaymak vd. 2019, Kalafat ve Görgün 2017). AAG içerisinde aletsel dönemde bir deprem göçünün olduğu görülmüştür. Bu göçün güneydoğudan kuzeybatıya doğru ve Sultandağı Fayı üzerinde olduğu belirtilmiştir (Demirtaş vd. 2002, Emre vd. 2003, Tiryakioğlu vd. 2019).



Şekil 1. ASFS'nin a) Türkiye'nin neotektonik haritası içerisindeki yeri ve b) sistem üzerinde meydana gelen aletsel ve tarihsel dönem depremleri gösteren sismotektonik harita (Özkaymak vd. 2019, Emre vd. 2018 ve Duman vd. 2018'den düzenlenmiştir)

Depremsellik ile ilgili ilk çalışmaların Thomas Oldham ve Montessus de Ballore tarafından yapıldığı düşünülmektedir (Purcaru 1975, Richter 1958). Bu çalışmalardan sonra Richter Magnitüd Ölçeğinin ortaya çıkmasıyla birlikte depremselliğin matematiksel modelleri kurulmuştur. Ayrıca depremlerin magnitüd-frekans bağıntılarının Gutenberg ve Richter tarafından incelenmesi yeni yaklaşımlara yön vermiştir (Gutenberg and Richter 1944).

Depremsellik, depremler ve bunların etkilerinin görüldüğü sismik alanın tamamı şeklinde tanımlanmaktadır. Depremsellik analizlerinde sismik alanın tanımlanmasında kullanılan parametrelerin değişkenliğinden dolayı deprem katalogların seçimi önemlidir. Bir bölgenin depremselliği, konumuyla zamanı arasındaki doğrudan ilişki ile açıklanabilir. Bu nedenle geçmiş yıllara ait deprem verilerinin zaman ve konum doğruluğu istatistiksel hesaplamaları etkilemektedir.

2.1. Frekans – Magnitüd Bağıntısı

Frekans–magnitüd bağıntıları depremselliğin tanımlanmasında kullanılmaktadır (Mogi 1962). Depremsellik çalışmalarının ilk matematiksel modeli

Gutenberg-Richter tarafından 1944 yılında ortaya konulmuştur (1).

$$\text{Log}N(M)=a-bM \quad (1)$$

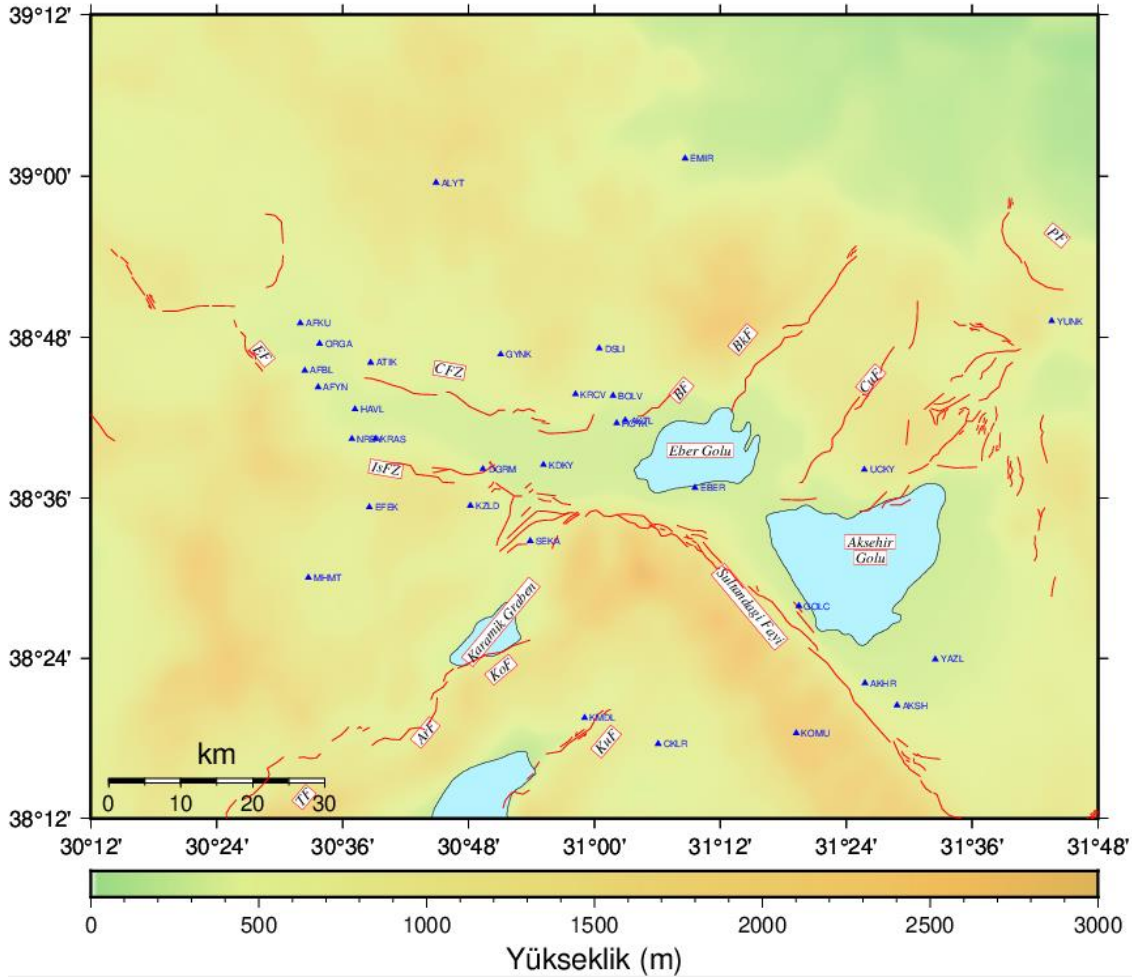
Burada bulunan N; bir yıl içinde meydana gelen M veya daha büyük magnitüdü olan deprem sayısını belirtmektedir. M; magnitüd, a ve b matematiksel değerleri göstermektedir. a değeri inceleme bölgesinin büyüklüğü, izlenen dönem ile bu dönemdeki depremlere bağlıdır (Bayrak 2012). b parametre ise, inceleme bölgesinin tektonik yapısına göre değişmektedir. Bu durum deprem oluşumunun fiziği ile doğrudan bağlantılıdır (Mogi 1962, Scholz 1968). b değerlerinin bölgeye ve zamana göre değişimleri, sismotektonik bölgelendirme için kullanılmaktadır. Bununla birlikte depremlerin önceden kestirimi içinde b değeri kullanılmaktadır b değeri büyüdükçe deprem tehlikesinin düşük olduğunu göstermektedir. Bunun terside söz konusu olup b değeri küçüldükçe deprem riski artmaktadır (Lomnitz and Singh 1976). (1) bağıntısındaki a ve b parametrelerinin belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılmakla beraber yaygın olarak Maximum likelihood yöntemi kullanılmaktadır.

3. GNSS Ölçüleri ve b Parametre hesabı

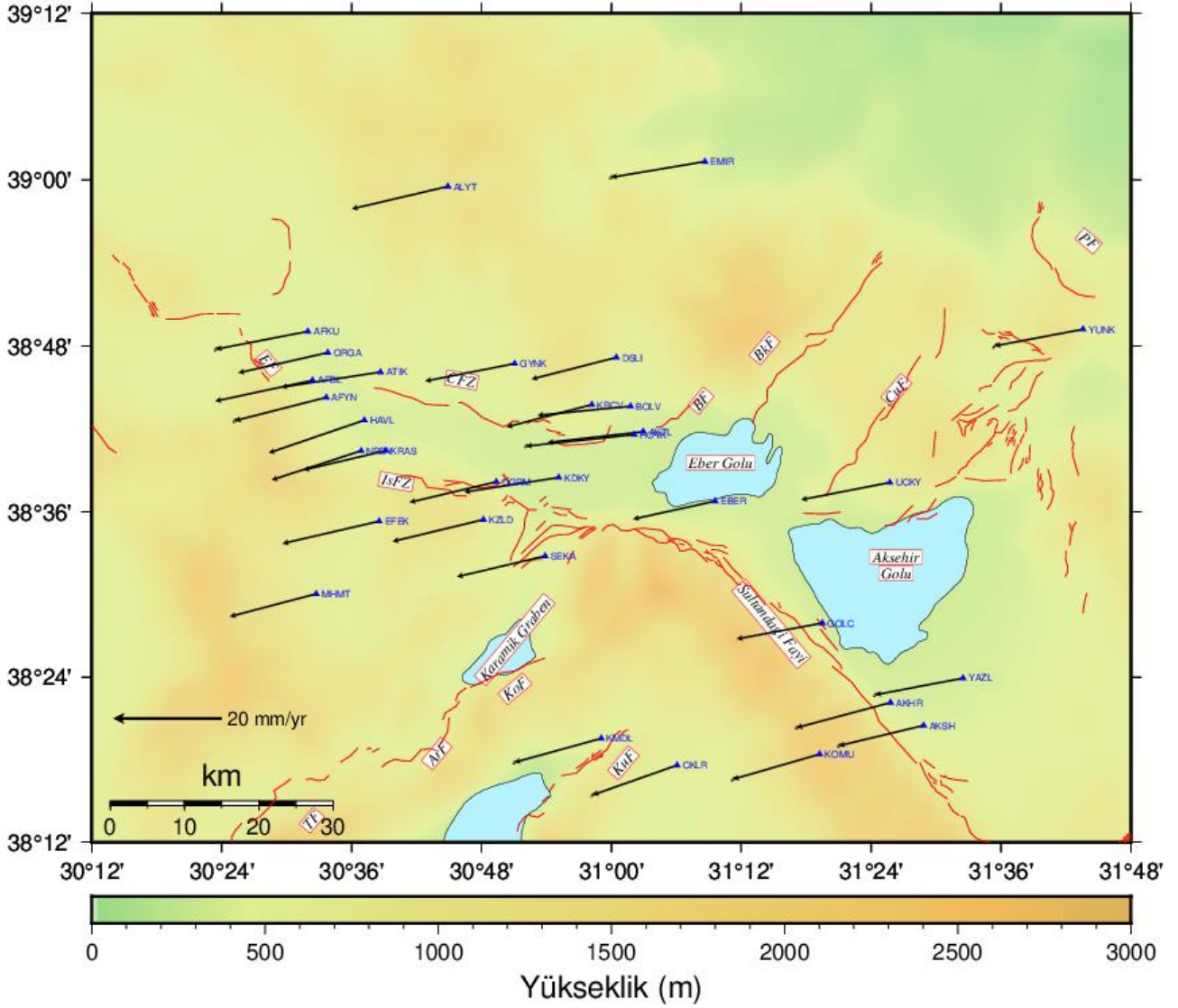
Bu çalışma kapsamında AAG içerisinde tesis edilen 27 GNSS noktasında 5 kampanya GNSS ölçüsü yapılmıştır (Şekil 2). Ölçüler 2012-2018 yılları arasında yapılmıştır. Afyon Kocatepe Üniversitesi BAPK tarafından desteklenen (12.TEMATİK.02-14.FEN.BIL.22) projeler ile ilk 3 kampanya GNSS ölçüleri yapılmıştır. 2016-2018 yılları arasında TÜBİTAK desteği (ÇAYDAG-115Y246) ile 2 kampanya daha GNSS ölçüsü yapılmıştır. Ölçülerde 6 Adet Thales-Zmax ve 3 adet Ashtech-Zxtreme GNSS alıcıları kullanılmıştır. Bu alıcılar Sadece GPS uyduları ile konumlama yapmakta olup diğer uydu sistemlerinin verileri toplanamamıştır. İlk ölçüler

tüm noktalarda eş zamanlı olarak minimum 8 saat ve 3 gün tekrarlı olarak gerçekleştirilirken son iki kampanyada Şafak vd. 2020 de belirtilen hız doğrulukları dikkate alınarak 8 saat 2 gün tekrarlı ölçüler yapılmıştır (Şafak vd. 2020). GNSS alıcılarına veri kayıt aralıkları 15 sn. yükseklik açısı ise 5 derece olarak girilmiştir. Ölçülerin değerlendirilmesi ve analizinde GAMIT/GLOBK yazılım kullanılmıştır (Herring *et al.* 2018). Bu çalışmada bölgede bulunan IGS istasyonlarından yıllık tekrarlılıkları istikrarlı olan 20 tanesi stabilizasyon çalışması için kullanılmıştır.

Global stabilizasyon sonrasında Avrasya plakası sabit hızlar için karesel ortalama hata 0.30 mm/yıl, olarak hesaplanmıştır. GNSS noktalarının hızları Şekil 3'de verilmiştir.



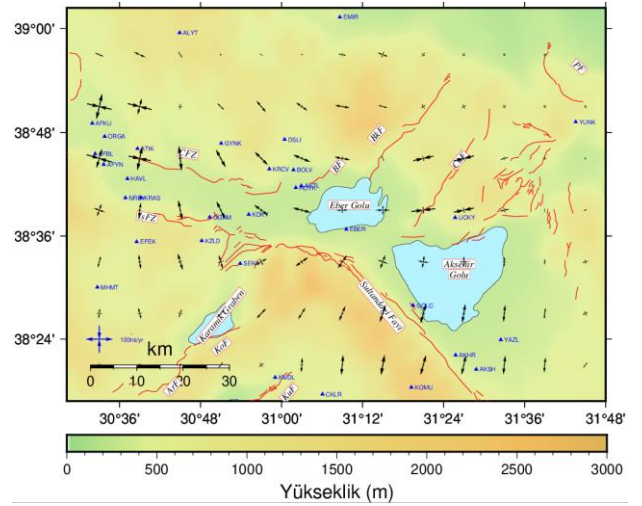
Şekil 2. Gözlem yapılan noktalar haritası (CFZ: Çobanlar Fay Zonu, IsFZ: Işıklar Fay Zonu, BF: Bolvadin Fayı, BkF: Büyükkarabağ Fayı, ÇuF: Çukurcak Fayı, KuF: Kumdalı Fayı, KoF: Koçbeyli Fayı, ArF: Arızlı Fayı, TF: Tatarlı Fayı; EF: Erkmen Fayı).



Şekil 3. Avrasya sabit hız alanı

3.1. Yamulma Analizi

GEODSUIT programı kullanılarak yamulma analizi yapılmıştır. Avrasya plakası sabit olarak hesaplanan hızlar ve hızların hataları program girdisi olarak kullanılmıştır. Çalışma alanı 0.1x0.1 derecelik gridlere ayrılmıştır. Her grid için bir yamulma değeri hesaplanmıştır (Şekil 4).

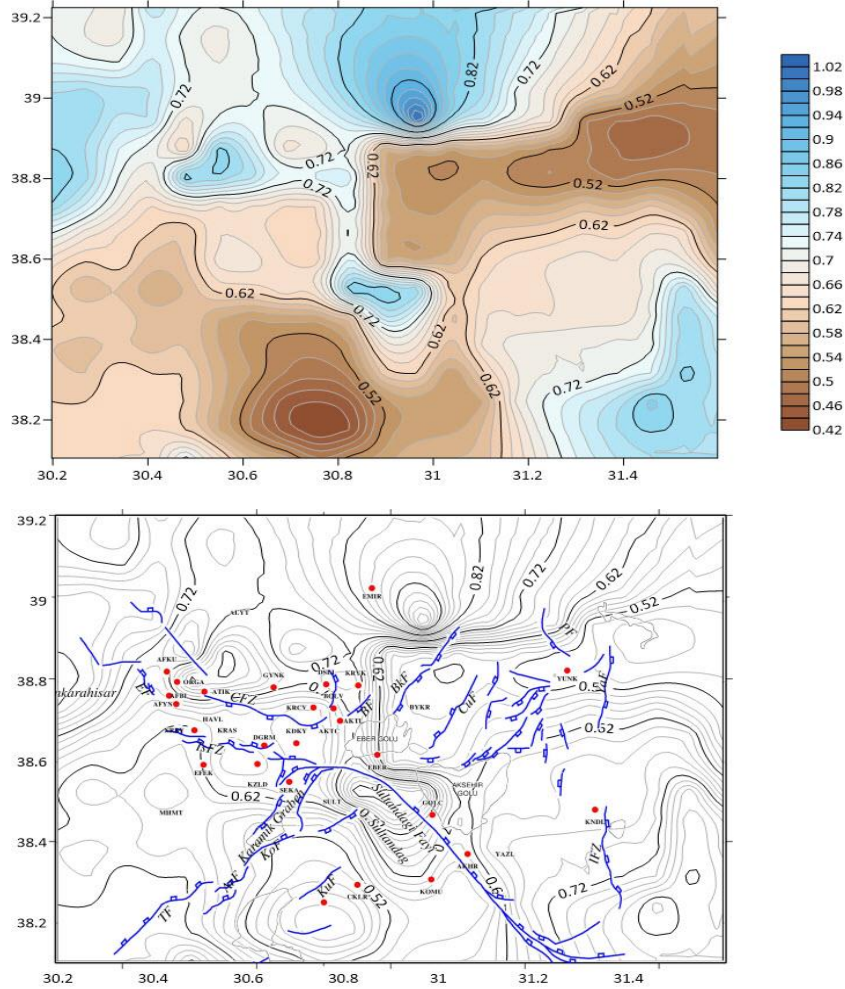


Şekil 4. Bölgenin yamulma alanı

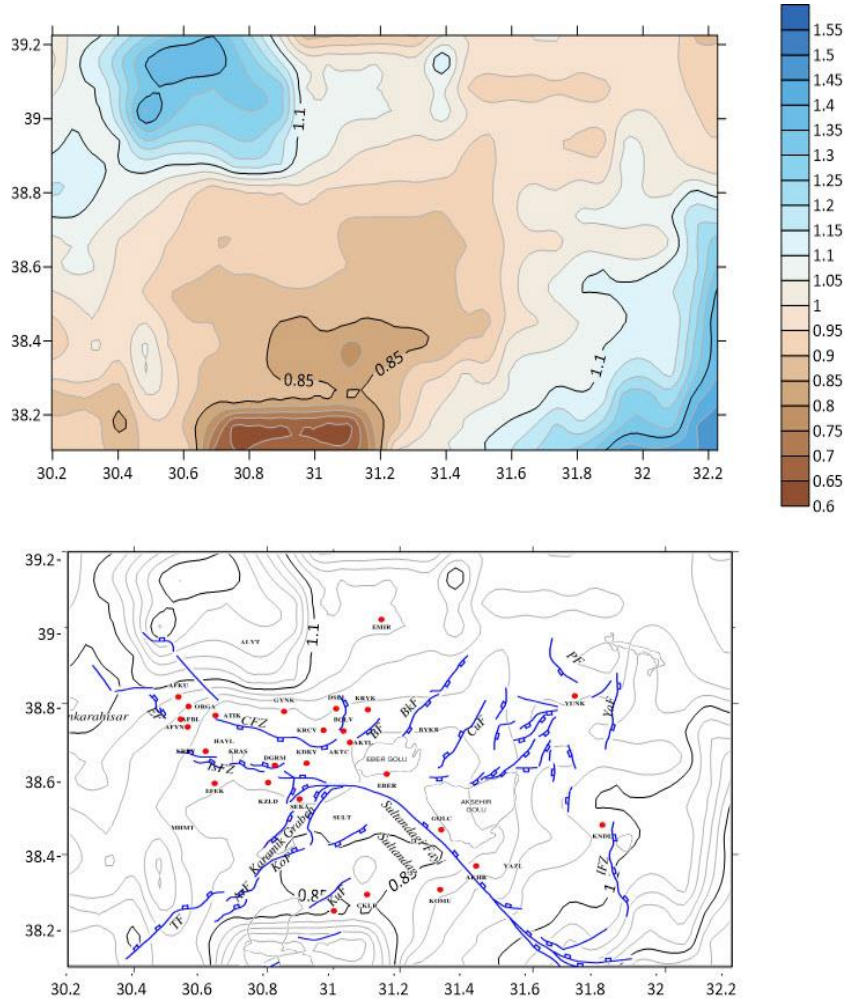
3.2. b Parametrelerinin Hesaplanması

Bu çalışmada b parametresi "maximum likelihood" yaklaşımı ile hesaplanmıştır. Çalışma alanı yamulma alanı gibi 0.1x0.1 derecelik gridlere bölünmüştür. Her bir gridin içerisinde b değeri hesaplanmıştır. Bu gridlerde büyüklüğü M:2.5 üzerinde depremlerden en az 30 adet olması durumunda b parametresi hesaplanmıştır. Aletsel dönemde içerisinde 1980 yılından önce meydana gelen depremlere ait kayıtların büyüklük ve konum doğruluğunun düşük olması nedeniyle hesaplamalarda kullanılmamıştır. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi deprem

katalogunda 1980-2019 yılları arasını kapsayan depremler seçilmiştir. Katalogdan büyüklükleri M:2.5-6.5 arasında değişen 2859 adet deprem belirlenmiştir (Şekil 1). b parametreleri 2 dönem olarak Maximum likelihood yöntemine göre belirlenmiştir. 2002 yılındaki Sultandağı-Çay depremleri (Mw:6.2 ve 6.3) nedeniyle ilk dönem olarak 1980-2002, ikinci dönem 2003-2019 olarak seçilmiştir (Şekil5, Şekil 6). Bununla birlikte ana depremlerden sonra meydana gelen artçı depremlerin b parametresine etkisini minimuma indirmek için 2002 yılı depremleri katalogdan çıkarılmıştır.



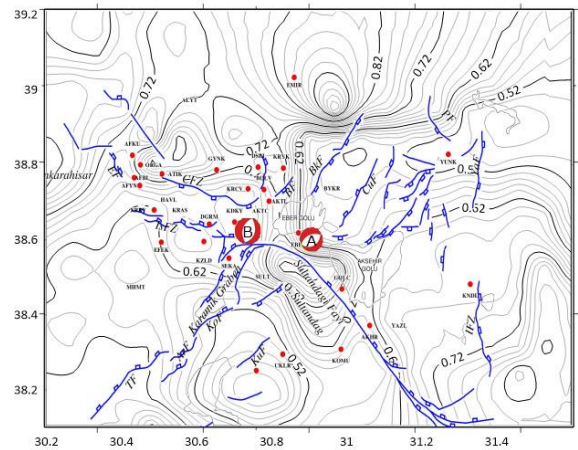
Şekil 5. 1980-2002 arası hesaplanan b parametresi (ilk dönem)



Şekil 6. 2003-2019 arası hesaplanan b parametresi (ikinci dönem)

Yamulma alanları ile b parametre verileri birleştirilerek 150 grid noktasında tek bir haritada gösterilmiştir (Şekil 8). 1980-2002 yılları arası için ortalama b değeri 0.65 olarak hesaplanmıştır. 2003-2019 yılları için ise b değeri 0.93 olarak belirlenmiştir. 03.02.2002 Mw:6.3 büyüklüğündeki deprem A ile, Mw:6.0 depremi ise B ile gösterilmiştir (Şekil 7). Bu iki depremde 1980-2002 yılları arası için hesaplanan ortalama b değeri olan 0.65 değerinden küçük değere sahip bölgede meydana gelmiştir.

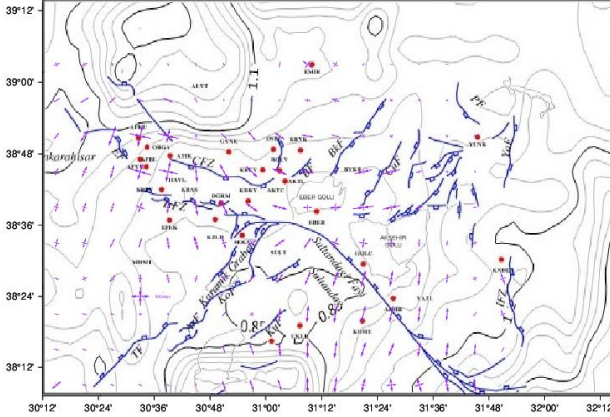
Her depremde olduğu gibi 2002 depremlerinden sonra bölgede bir enerji boşaldığı düşünülmektedir. Çalışmada ilk GNSS ölçüleri 2012 yılında yapılmıştır. Hesaplanan yamulma alanı 2002 depreminden sonraki dönem olmakla beraber güncel yamulmaları göstermektedir. Deprem sonrası dönemlere ait b parametreleri ile yamulma değerleri Şekil 8'de birleştirilmiştir.



Şekil 7. 1980-2002 yılları arasındaki b parametre.

Çalışma bölgesinde büyük yamulma alanları ile ortalama b değerinden küçük bölgelerin uyum içinde olduğu görülmüştür (Şekil 8). Deprem sonrası dönemde b parametrelerinin özellikle AAG'nin Sultandağı fayı bölümünün 0.93 olan ortalama değerinden küçük bölgelerde yamulma alanlarının

büyüklüğü dikkat çekmektedir. 2002 depreminin olduğu bölgelerde (Eber Bolvadin civarı) ise yamulma alanlarının çok küçük olduğu görülmektedir. Yine bu bölgelerde b değerlerinin ortalama b değerinden yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. 2003-2019 yılları arasındaki b parametresi ve yamulma.

4. Tartışma ve Sonuç

ASFZ üzerinde AAG de hız alanı belirlemek için 27 noktalı bir GNSS ağı kurulmuştur. Bu ağda 2012-2018 yılları arasında yapılan GNSS ölçüleri ile Avrasya plakası sabit olarak hız alanı hesaplanarak yamulma analizi yapılmıştır.

Sultandağı Fayı üzerinde kuzey güney yönlü yamulma değerlerinin maksimum olduğu görülmüştür. Bu açılmalar bölgenin normal fayların denetiminde olduğunu göstermektedir. Geçmiş deprem çözümleri ve paleostres sonuçları da bu sonuçları destekler niteliktedir (Tiryakioğlu Vd. 2018). 2002 yılı depremlerinin merkez üslerinin olduğu alanlarda (Eber, Bolvadin civarında) ise yamulmaların küçük miktarlarda yaklaşık doğu batı açılmaların olduğu görülmüştür. Bu bölgede yamulmanın küçük olmasının nedeninin Sultandağı-Çay depremleri ile enerji boşalımının gerçekleşmiş olduğu düşünülmektedir (Akyüz vd. 2006).

AAG'nin batı tarafında (Çobanlar Fayı - Afyon arası) kuzey güney yönlü açılmalar ile yamulma değerlerinin arttığı görülmüştür. Yapılan jeolojik çalışmalarda bölgede 1921 de başlayan depremlerin

batıya doğru devam edeceğini belirtilmiştir (Demirtas vd. 2002, Akyüz vd. 2006). Bu çalışmada AAG üzerinde yamulma değerlerinin batıya doğru büyümesi bu çalışmaları destekler niteliktedir.

Hesaplanan ortalama b değerinden düşük alanlar ile yüksek yamulma değerleri uyum içinde olması bölgedeki sismik tehlikenin büyük olduğu göstermektedir. b parametrelerinin doğruluğunu etkileyen en önemli unsur grid çevrelerinde meydana gelen depremlerin sayılarının azlığıdır. b parametrelerinin doğru sonuç vermesi için deprem kataloglarının uzun dönemleri kapsamı gerekmektedir. Kısa dönemleri kapsayan kataloglardan hesaplanan b parametre değerleri bölgede az deprem olması durumunda hatalara neden olabilir. Bununla birlikte sismik suskunluk olan bölgelerde b değeri hesaplanması mümkün olmamaktadır. Çalışma bölgesinde yamulma alanları ile b parametreleri arasında fark olan yerlerin temel sebeplerinin bu parametreler olduğu düşünülmektedir.

Çalışma sonucunda yamulma alanlarının büyüklüğü, b parametre değerlerinin küçüklüğü dışında diğer çalışmalardan elde edilen sismik boşluk, deprem göçü vb. sonuçlar dikkate alındığında AAG içinde kalan bölgede, Sultandağı Fayının batı kesiminde gelecek yıllarda 2002 yılında meydana gelen deprem büyüklüklerine benzer büyüklükte bir deprem olma ihtimali bulunduğu görülmüştür. Günümüzde depremlerin oluş zamanlarının tam olarak bilinmemesine rağmen bilimsel çalışmalarla deprem riski olan bölgeler yaklaşık olarak belirlenebilmektedir. Bu nedenle çalışma alanında deprem riskinin belirlenmesine yönelik çok disiplinli çalışmalar yapılmaya devam edilmelidir.

Teşekkür

Bu çalışma AKU BAPK (Proje No:12.TEMATİK.02, 14.FEN.BİL.22) ve TÜBİTAK (115Y246) nolu projeler tarafından desteklenmiştir. b parametre analizlerinde yardımlarını esirgemeyen Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Jeodezi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Doç.Dr. Fatih BULUT'a teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

Aktuğ, B., Nocquet, J.M., Cingöz, A., Parsons, A., Erkan, Y., England, P., Lenk, O., Gürdal, M.A., Kılıçoğlu, A., Akdeniz, H. and Tekgöl, A., 2009. Deformation of

- western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: limits to block-like behaviour. *Journal of Geophysical Research*. **114**, B10404.
- Akyüz, S., Uçarkuş, G., Şatır, D., Dikbaş, A. ve Kozacı, Ö., 2006. 3 Şubat 2002 Çay depreminde meydana gelen yüzey kırığı üzerinde paleosismolojik araştırmalar. *Yerbilimleri*, **27(1)**, 41-52.
- Ambraseys, N.N. and Finkel, C.F., 1995. The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas: A Historical Review, 1500–1800. Eren Yayıncılık ve Kitapçılık Ltd. Şti., İstanbul.
- Bayrak, E., 2012. Batı Anadolu Bölgesinin Deprem Tehlikesinin Farklı Yöntemler Kullanılarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 137.
- Blumenthal, M.M., 1963. Le systeme structural du Taurus sud Anatolien, in Livre a'memoire du Professeur Paul Fallot. *Societe Geologique de France*, **2**, 611–622.
- Demirtaş, R., İravul, Y. ve Yaman M., 2002. 3 Şubat 2002 Eber ve Çay depremleri ön raporu. *Jeoloji Mühendisliği Haber Bülteni*, **1**, 58 – 63.
- Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö., Kadirioglu, F.T., Başarır, Baştürk, N., Kılıç, T., Arslan, S., Özalp, S., Kartal, R.F., Kalafat, D., Karakaya, F., Eroğlu, Azak, T., Özel, N.M., Ergintav, S., Akkar, S., Altınok, Y., Tekin, S., Cingöz, A. and Kurt, A.İ., 2018. Seismotectonics database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **16(8)**, 3277-3316.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F. and Kuşcu, İ. (2003). Surface Faulting Associated with the Sultandağı Earthquake (Mw 6.5) of 3 February 2002, Southwestern Turkey. *Seismological Research Letters*, **74(4)**, 382-392.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H. and Çan, T., 2018. Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **16(8)**, 3229-3275.
- Erdoğan, H., Akpınar, B., Gülal, E., and Ata, E.: Monitoring the dynamic behaviors of the Bosphorus Bridge by GPS during Eurasia Marathon, *Nonlin. Processes Geophys.*, **14**, 513–523, 2007.
- Erdoğan, S., Şahin, M., Yavaşoğlu, H., Tiryakioğlu, I., Erden, T., Karaman, H., Tari, E., Bilgi, S., Okan, Tüysüz O., Baybura, T., Güllü, M., Taktak, F., Telli, A.K., Yılmaz, İ. and Boz, Y., 2008. Monitoring of Deformations Along Burdur Fethiye Fault Zone With GPS. *Journal of Earthquake Engineering*, **12**, 109-118.
- Erdoğan, H., and Güüal, E. 2009, The application of time series analysis to describe the dynamic movements of suspension bridges. *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, **10**, 910–927.
- Erdoğan, H. 2012, The effects of additive outliers on time series components and robust estimation: a case study on the Oymapınar Dam, Turkey. *Exp Tech* 2012; **36(3)**: 39–52.
- Erdoğan, H. and Gülal, E. 2013., Ambient Vibration Measurements of the Bosphorus Suspension Bridge by Total Station and GPS. *Exp Techniques*, **37**, 16-23.
- Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z., 1967. Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (MS. 11-1964). *İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayınları*, **28**.
- Gutenberg, B. and Richter, C.F., 1944. Seismicity of the Earth. 2, Princeton University Press, NJ.
- Gülal, E., Tiryakioğlu, I., Erdoğan, S., Baybura, T., Erdoğan H., Soyacan, M., Yılmaz, İ., Kalyoncuoğlu, Ü.Y., Dolmaz, M.N., Elitok, Ö., Taktak, F., Telli, A.K., Öcalan, T., Gümüş, K., Kalyoncuoğlu, Ü. Y. Dolmaz, M. N., Elitok, Ö. Erdoğan H. & Soyacan M. 2013, Tectonic Activity Inferred From Velocity Field of GNSS Measurements in Southwest of Turkey, *Acta Geodaetica et Geophysica*, **48 (2)**, 109–121.
- Gülal, E., Erdoğan, H., Tiryakioğlu, I., 2013, Research on the Stability Analysis of GNSS Reference Stations Network by Time Series Analysis. *Digital Signal Processing*, **23**, 1945–1957, 2013.,
- Gülal, E., Dindar, A.A., Akpınar, B., Tiryakioğlu, I., Aykut, N.O., Erdoğan, H., Analysis And Management Of Gns Reference Station Data, *Technical Gazette* **2(2015)**, 407-414
- Herring, T. A., King, R. W., Floyd, M. A. and McClusky S. C., 2018. Introduction to GAMIT/GLOBK. Release 10.7. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, 10-42.

- Kalafat, D. and Görgün E., 2017. An Example Of Triggered Earthquakes İn Western Turkey: 2000–2015 Afyon-Akşehir Graben Earthquake Sequences. *Journal of Asian Earth Sciences*, **146**, 103-113.
- Koçyiğit, A., 1984. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **27(1)**, 1- 15.
- Koçyiğit, A., Ünay, E. and Saraç, G., 2000. Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west central Anatolia and the Isparta Angle: a case study in the Akşehir-Afyon graben, Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, **173**, 405-421.
- Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Kaymakçı, N. ve Şaroğlu, F., 2002. 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depreminin kaynağı ve ağır hasarın nedenleri: Akşehir fay zonu, (Ön jeolojik rapor), Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 3-19.
- Koçyiğit, A. and Özacar, A., 2003. Extensional neotectonic regime through the NE edge of outer Isparta Angle, SW Turkey: new field and seismic data. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **12**, 67–90.
- Koçyiğit, A. and Deveci, Ş., 2007. A NS-trending Active Extensional Structure, the Şuhut (Afyon) Graben: Commencement Age of the Extensional Neotectonic Period in the Isparta Angle, SW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **16**, 391-416.
- Lomnitz, C. and Singh, S.K., 1976. Earthquakes and Earthquake Prediction; in Seismic Risk and Engineering Decisions, 15, Lomnitz, C. and Rosenblueth, E., Elsevier Scientific Publishing Company, 3-30.
- Mogi, K., 1962. Magnitude-frequency Relationship for Elastic Shocks Accompanying Fractures of Various Materials and Some Related Problems in Earthquakes. *Bulletin of the Earthquake Research Institute The University of Tokyo*, **40**, 831-883.
- Özden, S., Kavak, K.Ş., Koçbulut, F., Över, S. ve Temiz, H., 2003. 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) Depremleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **45(2)**, 49-56.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Geçievi, M.O. and Tiryakioğlu, İ., 2019. Late Holocene coseismic rupture and aseismic creep on the Bolvadin Fault, Afyon Akşehir Graben, Western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **28**, 787-804.
- Poyraz, F., Hastaoğlu, K.O., Koçbulut, F., Tiryakioğlu, İ., Tatar, O., Demirel, M., Duman, H., Aydın, C., Ciğer, A.F., Gursoy, O., Turk, T. and Sıgırcı, R., 2019. Determination Of The Block Movements İn The Eastern Section Of The Gediz Graben (Turkey) From Gns Measurements, *Journal of Geodynamics*, **123**, 38–48.
- Poyraz, F. 2015. Determining the strain upon the eastern section of the North Anatolian fault zone (NAFZ). *Arabian Journal of Geosciences*, **8(3)**, 1787-1799.
- Purcaru G., 1975. A new quantitative measure of seismicity and some related problems. *Veröffentlichungen des Zentralinstitut Für Physik Der Erde*, **31(1)**, 185-204.
- Richter, C. F., 1958. *Elementary Seismology*, WH Freeman and Company, San Francisco, 136-139.
- Scholz, C. H., 1968. The Frequency–magnitude Relation of Microfracturing in Rock and its Relation to Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **58**, 399 – 415.
- Soysal H., Sipahioğlu S., Kolçak D. and Altınok Y., 1981. A catalogue of earthquakes for Turkey and surrounding area (BC 2100-AD 1900). Final report, The Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBİTAK), Ankara.
- Şafak, Ş., Tiryakioğlu, İ., Erdoğan, H., Solak, H.İ., Aktuğ, B., 2020, Determination of parameters affecting the accuracy of GNSS station velocities. *Measurement*, **164** (2020) 108003
- Tan O., Tapirdamaz M.C. and Yörük A., 2008. The earthquakes catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **17**, 405-418.
- Taymaz T. and Tan, O., 2001. Source parameters of June 6, 2000 OrtaÇankırı (Mw = 6.0) and December 15, 2000 Sultandağı-Akşehir (Mw = 6.0) earthquakes obtained from inversion of teleseismic Pand SH- body-waveforms. *Scientific Activities 2001 Symposia, İstanbul, Turkey*. 96-107.
- Tiryakioğlu, İ., Floyd, M., Erdoğan, S., Gülal, E., Ergintav, S., McClusky, S. and Reilinger, R., 2013. GPS Constraints on Active Deformation in the Isparta

Angle Region of SW Turkey. *Geophysical Journal International*, **195**, 1455–1463.

2-<http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/Ist5.asp>
(07.01.2021)

Tiryakioğlu, İ., Baybura, T., Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Sandıkçioğlu, A., Erdoğan, S., Yılmaz, İ., Uysal, M., Yılmaz, M., Yıldız, A., Dereli, M.A. Yalçın, M., Dumlupınar, İ., Yalın, H.A., Ertuğrul. O. 2015. Sultandağı Fayı Batı Kısmı Fay Aktivitelerinin Multidisipliner Çalışmalarla Belirlenmesi, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2015, 7(1) 7-16

Tiryakioğlu, I., Yavaşoğlu, H., Uğur, M.A., Özkaymak, Ç., Yılmaz, M., Kocaoğlu, H., Turgut, B. Analysis of October 23 (Mw 7.2) and November 9 (Mw 5.6), 2011 Van Earthquakes Using Long-Term GNSS Time Series, Earth Science Research Journal, **21(3)**, 147-156, 2017.

Tiryakioğlu, İ., Özkaymak, Ç., Baybura, T., Sözbilir, H. and Uysal, M., 2018. Comparison of Palaeostress Analysis, Geodetic Strain Rates and Seismic Data in the Western Part of The Sultandağı Fault in Turkey. *Annals of Geophysics*, **61(3)**, 1-14.

Tiryakioğlu, İ., Yiğit C.O., Özkaymak, Ç., Baybura, T., Yılmaz, M., Uğur, M.A., Yalçın, M., Poyraz, F., Sözbilir, H. and Gülal, E., 2019. Active Surface Deformations Detected By Precise Levelling Surveys In The Afyon-Akşehir Graben, Western Anatolia, Turkey. *Geofizika*, **36(1)**, 33–52.

Ulusay, R., Aydan, Ö., Erken, A., Tuncay, E., Kumsar, H. and Kaya, Z., 2004. An overview of geotechnical aspects of the C ay-Eber (Turkey) earthquake. *Engineering Geology*, **73**, 51–70.

Yigit, C. O., Alcay, S., & Ceylan, A. 2016, Displacement response of a concrete arch dam to seasonal temperature fluctuations and reservoir level rise during the first filling period: evidence from geodetic data. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(4), 1489-1505.

Yürür, T., Köse, O., Demirbağ, H., Özkaymak, Ç. and Selçuk, L., 2003. Could the coseismic fractures of a lake ice reflect the earthquake mechanism. *Geodynamica Acta*, **16**, 83-87.

İnternet kaynakları

1-http://www.mdsoft.com.tr/Pages/Product_Geodsoft,
(07.01.2021)

GPS/Galileo PPP-AR ve PPP Yöntemlerinin Doğruluklarının Gözlem Süresi ve Uydu Kombinasyonları Açısından İncelenmesi

Bariş KARADENİZ¹, Mert BEZCİOĞLU¹, Ömer Faruk BİLGİN², Cemal Özer YİĞİT¹

¹Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

²Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mezun Lisans Öğrencisi.

Sorumlu yazar e-posta: b.karadeniz@gtu.edu.tr
e-posta: mbezcioğlu@gtu.edu.tr
e-posta: omertfaruk0361@gmail.com
e-posta: cyigit@gtu.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5093-5467>
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7179-8361>
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7221-066X>
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1942-7667>

Geliş Tarihi: 01.10.2021

Kabul Tarihi: 10.12.2021

Öz

Anahtar kelimeler

GPS; Galileo; PPP;
PPP-AR; IGS; MGEX

Bu çalışmada farklı enlemlerde seçilen üç farklı Uluslararası GNSS Servisi (IGS) istasyonunun ardışık 15 günlük GPS/Galileo gözlem verileri kullanılmış, elde edilen bu gözlemler, hem geleneksel-PPP hem de PPP-AR teknikleri kullanılarak statik modda değerlendirilmiştir. Kısa ve uzun ölçü süresinin yöntemler üzerindeki etkisini değerlendirmek için, üç farklı istasyondan elde edilen gözlem dosyaları 0.75, 1, 1.5, 2, 3, 4 ve 24 saatlik verilere ayrılmış, Galileo uydu gözlemlerinin GPS uydu gözlemlerine katkısını incelemek için PPP ve PPP-AR yöntemleri sadece-GPS ve GPS/Galileo uydu kombinasyonları açısından da incelenmiştir. Sonuçlar gözlem sürelerinin artması ile PPP yönteminde konum doğruluğunun arttığını ve PPP-AR tekniğinde ise faz başlangıç belirsizliğinin yanlış değere sabitleme riskini azalttığını göstermiştir. Çalışmanın bulguları, PPP ve PPP-AR tekniklerinde Galileo uydu sisteminin GPS gözlemlerine dahil edilmesiyle konum doğruluğunun geliştiğini, PPP ve PPP-AR yöntemlerinin birbirleriyle karşılaştırıldıklarında ise PPP-AR yönteminin konum doğruluğunun genellikle tüm ölçü sürelerinde PPP yönteminden daha iyi çıktığı açıkça ifade edilmektedir.

Investigating the Accuracy of GPS/Galileo PPP-AR and PPP Methods In Terms of Observation Duration and Satellite Combinations

Abstract

Keywords

GPS; Galileo; PPP;
PPP-AR; IGS; MGEX

In this study, 15 consecutive days of GPS/Galileo observations of three different International GNSS Service (IGS) stations selected at different latitudes were used, and these observations were evaluated in static mode using both traditional-PPP and PPP-AR techniques. In order to evaluate the effect of short and long observation duration on discussed the methods, observation files obtained from three different stations were divided into 0.75, 1, 1.5, 2, 3, 4 and 24 hour data. In order to examine the contribution of Galileo satellite observations to GPS satellite observations, PPP and PPP-AR methods were also examined in terms of GPS-only and GPS/Galileo satellite combinations. The results showed that with the increase of the observation duration, the position accuracy increased in the PPP method and the risk of fixing wrong integer ambiguity in the PPP-AR technique was reduced. The findings of the study clearly state that in PPP and PPP-AR techniques, the inclusion of Galileo observations to GPS has improved the positioning accuracy, and when the PPP and PPP-AR methods are compared with each other, the horizontal positioning accuracy of the PPP-AR method is generally better than the PPP method at all observation periods.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

GNSS tekniği 20 yılı aşkın bir süredir konum belirlemeye gereksinim duyan birçok alanda kullanılmaktadır. Günümüzde konum belirleme

sistemlerinde yaşanan gelişmelerle beraber bu sistemler insan yaşamının birçok alanında kolaylık sağlamaktadır.

GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou gibi küresel ölçekte kullanıcılara hizmet veren uydu sistemlerine ek olarak, Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) ve Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS) gibi bölgesel konum belirleme sistemlerinin kullanıma sunulması GNSS sistemlerini sürekli genişletmektedir. GNSS takım yıldızları içerisinde geniş kullanıcı kitlesine sahip ilk sistem, ABD savunma bakanlığı tarafından geliştirilen Navstar-GPS sistemidir (Yionoulis 1998, Lou *et al.* 2016). Tam kapasiteli çalışan ikinci küresel uydu sistemi olan GLONASS ise diğer mevkidaşları gibi askeri ve sivil kullanıcılara hizmet veren uydu tabanlı bir konum belirleme sistemidir (Hofmann *et al.* 2008, Li *et al.* 2014). Bu iki sisteminin ilk çıkış sebebi askeri amaçlı olup ilerleyen zamanlarda sivil kullanıma açılmıştır. Çıkış amacı tamamen sivil kullanımına yönelik olan ve Avrupa Birliği ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından geliştirilen Galileo takım yıldızı, arama-kurtarma ve güvenlik gibi hizmetler sunan uydu tabanlı küresel konum belirleme sistemidir (Neilan *et al.* 2013, Guo *et al.* 2017, Li *et al.* 2017). İlk kapsama alanı Asya Pasifik ve Çin Halk Cumhuriyeti bölgeleri olan ve Çin Halk Cumhuriyeti tarafından geliştirilen BeiDou uydu sistemi (BDS), günümüzde küresel ölçekte hizmet vermektedir (Hobiger and Jakowski 2017, Koca ve Ceylan 2018, Li *et al.* 2020). GNSS gözlemlerine bağlı olarak bir noktanın konumu mutlak veya bağıl yöntemle belirlenir. Bağıl yöntemde noktanın konumu, en az bir referans istasyonundan aynı uydulara eş zamanlı ölçüm yapılarak elde edilirken, mutlak konum belirlemede tek bir GNSS alıcısı ile noktanın konumu belirlenebilmektedir. Bağıl konum belirlemeye alternatif olarak ortaya çıkan PPP tekniği ise son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Aktif olarak çalışan GPS ve GLONASS sistemlerine, Galileo, BeiDou, QZSS ve SBAS gibi uydu sistemlerinin de eklenmesi neticesinde, IGS tarafından The Multi-GNSS Experiment (MGEX) projesi başlatılmıştır (Dow *et al.* 2009, Neilan *et al.* 2013, Montenbruck *et al.* 2014). MGEX projesi kapsamında aktif uydu sistemlerinin bir arada olduğu (çoklu-GNSS) hassas yörünge ve saat ürünleri ile faz ve kod kayıklığı (bias) ürünleri sağlanmıştır (Rizos *et al.* 2013). Bu

ürünlerin hassas bir şekilde sağlanması PPP tekniğinin konum belirleme performansını arttırmış ve birçok araştırmada kullanılmaya başlanmıştır. PPP yöntemi ile ilgili çalışmalar önceden sadece GPS uyduları ile yapılırken, ilerleyen zamanlarda GLONASS uyduları da eklenerek iki GNSS sistemin birlikte kullanılmasının katkısı araştırılmıştır. Cai and Gao (2007) tarafından 12 ve 3 saatlik oturumlar ile elde edilen GPS ve GLONASS gözlem verileri, sadece-GPS ve GPS/GLONASS uydu kombinasyonları ile PPP tekniği kullanılarak değerlendirilmiş ve kombinasyonların faz belirsizliği yakınsamasına ve konum doğruluğuna olan katkısı araştırılmıştır. Yapılan çalışmada GLONASS gözlemlerinin konum belirleme doğruluğunu arttırdığı, yakınsama süresinin ise uydu geometrisine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Cai and Gao (2013) iyonosfer-bağımsız kombinasyona dayanan bir model geliştirerek, bu modeli GPS/GLONASS uydu kombinasyonlarına dayanan PPP yöntemi ile değerlendirmiş, bu modelin yakınsama süresi ve konum bilgisi doğruluğunu iyileştirdiğini öne sürmüşlerdir. Aynı dönemde Anquela vd. (2013) çift frekanslı GPS/GLONASS uydu kombinasyonuna dayanan PPP çözümlerini hem statik hem de kinematik modda sadece-GPS ve sadece-GLONASS çözümleri ile karşılaştırmıştır. Kinematik sonuçların GPS/GLONASS PPP de daha iyi doğruluk sağladığı, statik modda ise sadece GPS-PPP çözümlerinin GPS/GLONASS'a göre yakınsama zamanının daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir. Yigit vd. (2014) sadece-GPS, sadece-GLONASS ve GPS/GLONASS uydu kombinasyonları ile sonradan-değerlendirme (post-process (PP)) PPP tekniğinin kısa ve uzun süreli ölçülerdeki performansını araştırmayı hedeflemiş, verilerini MagicGNSS yazılımı kullanılarak değerlendirmiştir. Kısa dönemli çözümlerde GPS/GLONASS PP-PPP yönteminin diğerlerine göre iyi olduğu, fakat uzun dönemli çözümlerde üç yöntemde birbiri ile benzer sonuçlar verdiğini öne sürmüşlerdir. Yigit vd. (2016) farklı enlemlerde 3 farklı IGS istasyonundan alınan gözlem verileri ile sadece GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemini web tabanlı CSRS-PPP yazılımı kullanarak ölçü süresine bağlı olarak değerlendirmiştir. GPS/GLONASS-PPP

yönteminin sadece-GPS PPP yöntemine göre kısa ölçü sürelerinde daha yüksek duyarlıklı sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. IGS' in yürüttüğü MGEX projesi dâhilinde çeşitli analiz merkezleri PPP yönteminde gerekli parametreler olan hassas uydu yörünge ve saat ürünlerini Galileo ve BDS GNSS sistemleri için sağlamıştır (Hackel *et al.* 2013, Zhao *et al.* 2013). BDS sistemindeki hızlı gelişmeler neticesinde Ge vd. (2012) hem statik hem de kinematik BDS-PPP yöntemini değerlendirmiştir. Bu yöntemler ile sağa, yukarı ve yükseklik bileşenlerinde santimetre seviyesinde doğruluk elde edilebileceği, ayrıca gözlem süresinin artması ile konum doğruluğunun daha iyi olduğu belirtilmiştir. BDS gözlemlerinin diğer uydularla kombinasyonun araştırılması için Li vd. (2014) BeiDou gözlemleri toplama yeteneğine sahip istasyonlardan elde edilen gözlem verileri ile BeiDou ve BeiDou/GPS uydu kombinasyonlarına sahip statik ve kinematik-PPP yöntemlerini PANDA yazılımı ile değerlendirmiştir. Çalışmada BeiDou ile elde edilen konum bilgilerinin statik ve kinematik modda santimetre seviyesinde olduğu, BeiDou/GPS gözlemlerine dayanan kinematik-PPP çözümlerinin sadece-GPS ve sadece-BeiDou kombinasyonlarına göre konum doğruluğunun daha iyi olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca PPP çözümünde BeiDou/GPS uydu kombinasyonunun yakınsama süresini azaltmıştır. Bununla birlikte, GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou uydu sistemlerinin analiz merkezleri tarafından üretilen MGEX ürünleri ile çoklu-GNSS çift ve tek frekanslı PPP teknikleri de analiz edilmiştir (Lou *et al.* 2016). Çift frekanslı Çoklu-GNSS PPP ve tek frekanslı PPP yöntemlerinin sadece-GPS sonuçlarıyla karşılaştırıldığında yakınsama süresinde önemli bir iyileşme olduğu, konum bilgisi doğruluğunda önemli bir gelişme olmadığı görülmüştür. Xia vd. (2019) çoklu-GNSS PPP tekniğine Galileo uydu sisteminin katkısını ve sadece-Galileo PPP yönteminin performansını değerlendirmiştir. Bu çalışma ile Galileo uydu sisteminin GPS/GLONASS kombinasyonlarına dahil edilmesi ile yakınsama süresinin azaldığı ifade edilmiştir. Buna ek olarak, GPS/Galileo PPP yönteminin sadece-GPS PPP ile karşılaştırılması sonucunda kinematik modda elde edilen koordinat bilgilerinin doğruluğunun arttığı,

fakat statik modda önemli bir değişime sebep olmadığı belirtilmiştir.

Yaklaşık 20 yıldır uydu sayılarındaki artış ve uydu sistemlerindeki gelişmeler, ayrıca üretilen hassas ürünler ve geliştirilen algoritmalarla birlikte PPP yöntemi kapsamında yapılan çalışmalar artmış ve bu teknikte santimetre seviyesinde konum bilgisi doğruluğuna ulaşılmıştır (Gao 2006, Kouba and Héroux 2001, Bulbul *et al.* 2021). PPP yönteminin doğası gereği konum doğruluğunun santimetre seviyesine ulaşması için ölçü süresinin yeteri uzunlukta olması gereklidir (Choy *et al.* 2017). Bu süre uydu dağılımı, uydu sayısı ve kombinasyonu, sinyal kalitesi, çevresel faktörler ve kullanılan ürün doğruluğu ile ilişkili değişiklik gösterebilmektedir. PPP yönteminin aksine, PPP-AR yönteminde başlangıç tam sayı belirsizliği kesirli olarak değil tam sayı olarak çözülmektedir. PPP-AR yönteminin geliştirilmesi ile yakınsama süresi ve konum doğruluğunun uydu kombinasyonları açısından incelenmesi ile ilgili çalışmalar da güncel literatüre dahil olmaya başlamıştır. Li vd. (2017) statik ve kinematik-PPP/PPP-AR yöntemlerini, GPS ve BDS gözlemleri ile yakınsama süresi ve konum doğruluğu açısından karşılaştırmış, GPS/BDS PPP-AR yönteminin sadece-GPS PPP-AR ve sadece-BDS PPP-AR yöntemlerinden yakınsama süresi ve konum doğruluğu açısından daha iyi olduğunu sonucuna varmışlardır. Li vd. (2018) GPS, GLONASS, Galileo ve BDS uydu gözlemleri kullanılarak çoklu-GNSS PPP-AR yöntemini tekli ve ikili uydu kombinasyonlarına sahip PPP-AR yöntemi ile kıyaslamıştır. Tüm koordinat bileşenlerinde ilk sabitleme zamanının (Time to first fix) ve en yüksek konumsal doğruluğun çoklu-GNSS PPP-AR çözümüyle sağlandığı sonucuna varıldığını ifade etmişlerdir. Geng vd. (2020) PPP-AR çözümlerinde tam sayı belirsizliğinin ne kadar hızlı elde edilebileceğini araştırmak için GPS, BeiDou, Galileo ve QZSS uydu sistemleri ile üçlü frekans verilerini kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre üçlü frekans PPP-AR çözümüne ne kadar fazla uydu sayısı eklenirse tam sayı belirsizliğinin çözülme süresinin kısaldığı gözlemlenmiştir. Katsigianni vd. (2019) sadece-GPS, sadece-Galileo ve çoklu-GNSS uydu

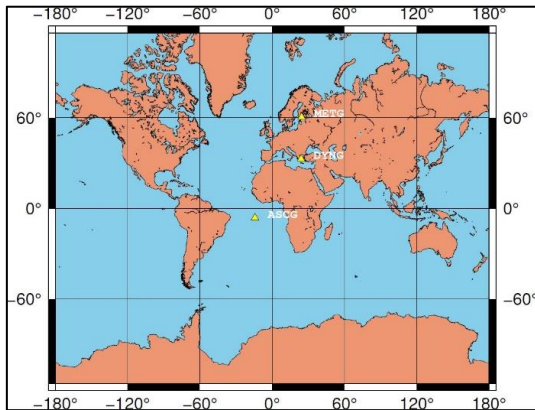
kombinasyonlarının kinematik PPP ve PPP-AR tekniklerinin performansını değerlendirmişlerdir. Çalışmada sadece-GPS ve sadece-Galileo konum doğruluğunun aynı seviyede olduğu ancak GPS uydu sistemine Galileo sisteminin dahil edilmesiyle PPP ve PPP-AR yöntemleri ile elde edilecek konum bilgisi doğruluğunu arttırılabileceği ifade edilmiştir. Psychas vd. (2020) farklı uydu ve frekans kombinasyonlarının konum bilgisi ve belirsizlik çözümüne olan etkisini analiz etmiştir. Çalışmada frekans sayısındaki artışın konum bilgisi ve tam sayı belirsizliği çözümünü iyileştirdiği ifade edilmiştir.

Bu çalışmada 3 farklı enlemde bulunan GPS ve Galileo uydu gözlem verileri toplayan IGS istasyonlarının 30 saniyelik verileri kullanılarak, farklı uydu kombinasyonları ile Net_diff yazılımında statik modda PPP ve PPP-AR çözümü yapılmıştır. PPP ve PPP-AR yöntemlerinin verdiği sonuçlar farklı uydu kombinasyonları kullanılarak çoklu-GNSS sisteminin çözüme katkısı incelenmiştir. Ayrıca PPP ve PPP-AR yöntemlerinin statik modda performansları farklı ölçü süresi açısından da karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Materyal

PPP ve PPP-AR yöntemlerinin konum belirleme doğruluklarını karşılaştırmak ve test etmek amacıyla çift frekanslı GPS ve Galileo verilerini toplayabilen üç farklı enlemde bulunan ASCG, DYNG, METG isimli IGS istasyonları seçilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan IGS istasyonlar

ASCG noktası düşük enlemde ve ekvatora yakın, DYNG noktası orta enlemde ve METG noktası yüksek enlemde ve kuzey kutbuna yakındır. Farklı istasyonlar seçilmesindeki temel sebep farklı uydu görünürlük ve çevresel şartlardaki GNSS alıcılarının gözlemlerinin incelenmesidir. Seçilen IGS istasyonları hakkında temel bilgiler ve coğrafi koordinatları sırasıyla Çizelge 1 ve Çizelge 2’de verilmiştir. Yapılan çalışmada, 01/05/2020 (122’nci GPS günü ve 2103 GPS haftası) tarihinden başlayarak 15/05/2020 (136’nci GPS günü ve 2105 GPS haftası) tarihine kadar 15 günlük bir veri seti statik modda PPP ve PPP-AR yöntemleri ile incelenmiştir. Bu tarihin seçilmesinin nedeni CDDIS (The Crustal Dynamics Data Information System) arşivinde RINEX verisi doluluk oranının %100 olmasıdır. Çalışmada belirtilen zaman dilimindeki tüm GNSS veri setleri CDDIS’ in web sayfasından indirilmiştir (Int Kyn. 2). Uydu kombinasyonları ile statik olarak yapılan PPP ve PPP-AR yöntemlerinde uydu sistemlerinin konum belirleme duyarlılığına etkisini görebilmek için RINEX verileri 0.75, 1, 1.5, 2, 3, 4 ve 24 saatlik zaman dilimlerine bölünmüştür. Farklı ölçü sürelerindeki RINEX dosyalarının başlangıç zamanı UTC (Coordinated Universal Time) ye göre 00.00.00 seçilmiştir. Örneğin, 0.75 saatlik dosyanın başlangıç zamanı 00.00.00 ile 00.45.00 aralığında iken, 1.5 saatlik dosyanın başlangıç zamanı yine 00.00.00 olup bitiş zamanı 01.30.00 dir.

2.2 Yöntem

2.2.1. Net_Diff Yazılımı

Net_Diff, IGS ve diğer sunuculardan GNSS gözlem veri ve ürünlerinin indirilebildiği, ayrıca konumlandırma ve analizin yapılabildiği bir yazılımdır. Dr. Yize Zhang tarafından geliştirilmiş bir yazılım olup, kullanıcıların PPP, PPP-AR, RTK (Real Time Kinematic), PPP-RTK gibi konum belirleme yöntemleriyle GNSS verilerini işleyebilmesine imkan vermektedir. Hali hazırda bulunan küresel çapta aktif 4 GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) uydu sistemi ve bölgesel bazda QZSS, IRNSS’ in tüm sinyallerini tek, çift ve üçlü frekansa kadar desteklemektedir (Int Kyn. 1). Konumlandırma kısmında yapılan işlemler

sonrasında herhangi bir ek yazılıma gerek duymadan noktaya ait ECEF(Earth-Centered Earth-Fixed) koordinat sisteminde ve ITRF-2014 (International Terrestrial Reference Frame-) datumunda üç koordinat bileşeninin konum-zaman grafiğini, noktaya ait karesel ortalama hata(KOH), standart sapma(STD) gibi istatistiksel parametrelerini vermektedir. Ayrıca uydu sayısı, uydu görünürlükleri, uyduların gökyüzündeki dağılımı gibi birçok bilgiyi görsel olarak sağlamaktadır.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan IGS istasyonları hakkında temel bilgiler.

IGS Noktaları	Alıcı Tipi	Anten Tipi	Uydu Sistemleri	Bulunduğu Şehir/Ülke
ASCG	TRIMBLE ALLOY	TRM59800.00 NONE	GPS/GLONAS GALILEO/BDS	Ascension Island/ Saint Helena
DYNG	TRIMBLE NETR9	TRM59800.00 NONE	GPS/GLONAS GALILEO/BDS	Dionysos/Yunanistan
METG	SEPT POLARX5	TRM59800.00 SCIS	GPS/GLONAS GALILEO/BDS	Metsahovi/Finlandiya

Sürekli gözlem yapan 3 IGS istasyonuna ait bulunduğu şehir ve ülke, alıcı tipi, anten tipi ve gözlem yapılan uydu sistemlerini içerir.

Çizelge 2. IGS istasyonlarının coğrafi koordinatları

IGS Noktaları	λ°	Φ°	h (m)
ASCG	-14.332665	-7.9162810	37.953
DYNG	23.932433	38.0785528	510.600
METG	24.384175	60.2419667	59.700

Sürekli gözlem yapan 3 IGS istasyonuna ait enlem, boylam ve elipsoidal yükseklik bilgileri içerir.

15 günlük veri setleri statik modda PPP ve PPP-AR çözümü için Net_Diff programında gözlem verisi, ilgili saat (.clk), yörünge (.sp3) ve bias (.bia) dosyaları programa okutulup ilgili parametre ayarları yapılarak farklı uydu kombinasyonları seçilerek prosesler yapılmıştır. Ayrıca okyanusa kıyısı olan ve okyanus yüklemesinden kaynaklı yer değiştirmelerin sebep olduğu hatalar, kullanılan program tarafından FES2004 okyanus gel-git modeli kullanılarak oluşturulan "tide.txt" dosyası çözümlerde dikkate alınmıştır. Çıktı olarak noktaların üç konum bileşenine ait istatistiksel değerleri ve hataları kaydedilmiştir. Ayrıca analiz kısmında proses esnasında görünür uydu sayısı, uyduların gökyüzündeki dağılımları, ilk fix olma zamanı (TTFF) ve proses boyunca fix olma oranı gibi değerlendirme sonuçları çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçların konum doğrulukları hesaplanması için referans olarak 15 günlük GPS/Galileo Statik PPP-AR ve PPP çözümleri ile elde edilen koordinatların ortalaması

2.2.2. Değerlendirme İşlemleri ve Konum Duyarlılıklarının Hesaplanması

Çalışmada seçilen üç IGS noktasına ait RINEX veri setleriyle beraber o güne ait GFZ (Geo Forschungs Zentrum Potsdam) merkezinin ürettiği hassas yörünge ve saat ürünü ile kod ve faz kayıklığı ürünlerini internet servisinden indirilerek değerlendirme işlemine geçilmiştir (Int Kyn. 2).

hesaplanmıştır. PPP-AR ve PPP sonuçlarının birbirleriyle çok iyi örtüştüğü ve CDDIS tarafından sağlanan ilgili zamandaki haftalık SINEX (Solution Independent Exchange) formatında bulunan koordinatlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın ana hedefi Galileo uydularının GPS uydularına katkısının ve PPP-AR tekniğinin PPP tekniğine göre avantajlarının ölçü süresine bağlı incelenmesi olduğu için 15 günlük 24 saatlik GPS/Galileo PPP-AR sonuçlarından hesaplanan ortalama değeri referans kabul edilmiştir. Referans koordinatlar ve her bir ölçü süresine ait elde edilen koordinatlar kullanılarak X, Y, Z yer merkezli Kartezyen sisteminden, Doğu (E), Kuzey (N), Yükseklik (U) bileşenleri ile ifade edilen toposentrik kartezyen sistemine dönüşüm gerçekleştirilmiştir (Yigit vd. 2016).

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada 3 farklı IGS istasyonuna ait GPS ve Galileo gözlem verilerini kullanarak noktaların konum duyarlılığı açısından PPP ve PPP-AR yöntemleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. 15 günlük veriler her gün için ayrı ayrı 0.75, 1, 1.5, 2, 3, 4 ve 24 saatlik veri setlerine ayrılarak toplam 105 veri grubunu kullanarak Statik PPP-AR ve PPP yöntemleri ile değerlendirme sonucu istatistiksel

hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar 3 IGS istasyonun hem yatay hem de düşey konum bileşenlerine uygulanmıştır. Hesaplamalarda noktalara ait Kuzey, Doğu ve Yükseklik bileşenlerinin KOH değerleri elde edilmiştir. PPP ve PPP-AR yöntemleri ile hem GPS hem de GPS/Galileo uydu kombinasyonlarını değerlendirme aşamasında Çizelge 3' de Net_Diff yazılımında kullanılan hassas yörünge ve saat ürünleri, kod ve faz kayıklığı (bias), örnekleme aralığı gibi bazı parametreler ve değişkenler gösterilmiştir. Yazılımda PPP-AR yöntemi ile değerlendirme yaparken hangi analiz merkezi seçilmişse kullanılan kod ve faz kayıklığı (bias) ürünü o analiz merkezinin ürettiği bias dosyası olmalıdır. Bu nedenle proses süreci boyunca Net_Diff v 1.12 kullanıldığı için CNES, WHU ve JAXA analiz merkezlerinden CNES analiz merkezi seçilip bu merkezin ürettiği ürünler ile Statik PPP-AR ve PPP çözümleri yapılmıştır. Net_Diff v 1.14 yeni çıkan versiyonu ile birlikte daha fazla analiz merkezinin ürettiği ürünler ile PPP-AR yöntemini desteklemektedir. Net_Diff yazılımında yapılan prosesler ile 3 IGS istasyonuna ait her bir noktanın Kuzey, Doğu ve Yükseklik bileşeninin KOH değerleri, belirtilen gözlem sürelerince ayrı ayrı hesaplanmış ve sonuçları Şekil 2'den başlayarak Şekil 10 aralığında gösterilmiştir. İstatistiksel hesaplamalarda her güne ait toplamda 15 günlük 0.75, 1, 1.5, 2, 3, 4 ve 24 saatlik periyotlarla KOH değerleri hesaplanmıştır. Fakat istatistiksel analizler yapılırken tüm gözlem sürelerinde ve tüm eşik değerinin üstündeki günlere ait sonuçlar KOH hesaplamalarına dahil edilmemiştir. Bu çalışmada yatay koordinat bileşenleri için eşik değer 4 cm, düşey bileşen için 8 cm seçilmiştir. Örneğin ASCG ve METG noktasında 0.75 ve 1 saatlik sonuçlarda birkaç gün eşik değeri üzerinde çıkarken, DYNG noktasında hem PPP hem de PPP-AR çözümlerinde eşik değer üzerinde bir sonuç çıkmamıştır. PPP yönteminin kısa zamanlı ölçülerde bazı günlerde eşik değerinin üzerinde değerlerin çıkması, faz başlangıç belirsizliğinin gerçek değere yakınsaması için daha uzun ölçü süresine ihtiyaç duymasından, o güne ait uydu sinyal kalitesi, atmosferik koşullar ve kullanılan ürünün doğruluğundan kaynaklanmaktadır. PPP de sıralanan benzer

sebeplerin yanı sıra, PPP-AR çözümünde ise kısa zamanlı ölçülerde eşik değerinin üzerinde değerlerin çıkması faz başlangıç değerinin bazen yanlış sabitlenmesinden (fix) kaynaklanmaktadır.

ASCG noktasının Kuzey bileşenine ait GPS ve GPS/Galileo uydu kombinasyonu gözlem verileri kullanılarak farklı gözlem sürelerindeki PPP ve PPP-AR çözümlerinden hesaplanan KOH değerleri birbiriyle kıyaslandığında, her iki yöntemden elde edilen çözümlerde, GPS gözlemlerine Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi ile beraber genelde KOH değerlerinin düştüğü böylece ölçülerin koordinat duyarlılığının arttığı görülmüştür. 4 saatlik ve 24 saatlik ölçü süresinde PPP çözümlerinde Galileo nun katkısı belirgin olarak gözükmezken, PPP-AR çözümlerinde tüm ölçü sürelerinde bu katkı görülmektedir. Ayrıca aynı gözlem sürelerinde PPP-AR çözümlerinden hesaplanan KOH değerlerinin PPP çözümlerinden hesaplanana göre daha düşük olduğunu ve böylelikle noktanın konum duyarlılığının daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. 0.75 saatlik kısa süreli ölçülerde PPP-AR' ın, PPP çözüme göre GPS ve GPS/Galileo uydu kombinasyonlarında, KOH değerlerinin anlamlı derecede düşük olması, kısa ölçü süresinde daha yüksek doğruluklu konum elde edilebildiğini göstermektedir. Bu noktaya ait Kuzey bileşeninin GPS gözlemleri ile PPP çözümlerinde 2.6 mm ile 12.2 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 3.0 mm ile 11.6 mm arasında değiştiği, GPS/Galileo gözlemleri ile PPP çözümlerinde 3.0 mm ile 10.3 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde ise 2.4 mm ile 7.7 mm arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar ASCG noktasının Doğu bileşeninde de görülmektedir. Şekil 3'de görüldüğü gibi GPS gözlemlerine Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi sonucu koordinat duyarlılığının arttığı, PPP yöntemi ile elde edilen çözümlerde KOH değerlerinin PPP-AR yöntemine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Kısa zamanlı gözlemlerde PPP-AR yönteminin PPP'ye göre koordinat duyarlılığını iyileştirdiği görülmüştür. Bu noktaya ait Doğu bileşeninin GPS gözlemleri ile PPP çözümlerinde 3.6 mm ile 22.3 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 5.8 mm ile 14.3 mm arasında değişmiştir. Bununla birlikte

GPS/Galileo gözlemleri ile PPP çözümlerinde 2.5 mm ile 20.5 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde ise 3.6 mm ile 9.0 mm arasında değiştiği gözlemlenmiştir. ASCG noktasının Yükseklik bileşeni incelendiğinde, Yükseklik bileşeninin ölçü süresinin artması ile GPS ve GPS/Galileo uydu gözlemlerine ait ölçülerin koordinat duyarlılığı, hem PPP-AR hem de PPP tekniğinde benzer şekilde iyileşmeler göstermiştir. Yatay bileşendeki sonuçlara benzer şekilde, Galileo uydu gözlemlerinin GPS' e dahil olması PPP-AR ve PPP sonuçlarını iyileştirmiştir. Fakat, yatay bileşende PPP-AR sonuçları, PPP sonuçlarına göre konum doğruluğu daha yüksek iken, yükseklik bileşeninde

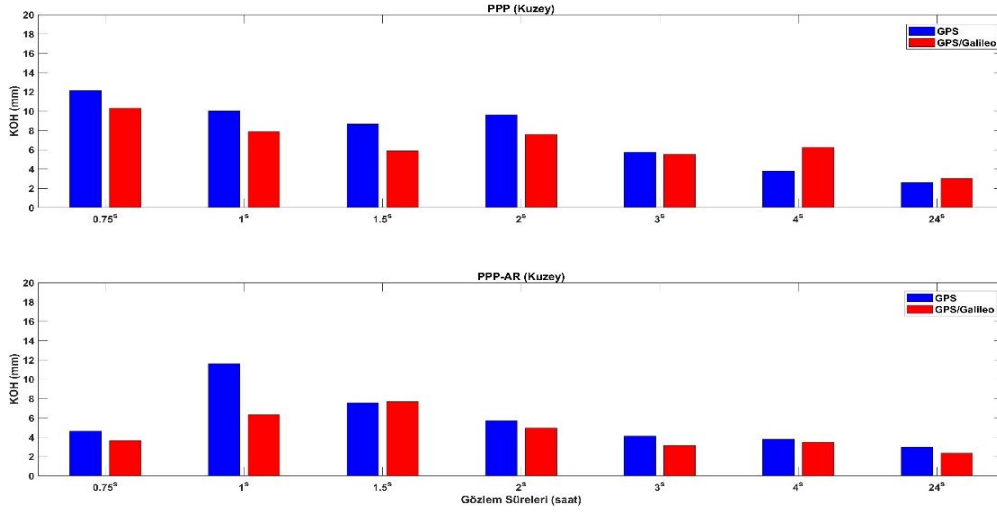
Çizelge 3. PPP ve PPP-AR yöntemleri için uygulanan parametre ve değişkenler.

Yazılım	Net_Diff v1.12 (Int Kyn. 1)
Veri (GNSS, Frekans)	GPS(L1, L2, L5), Galileo(E1, E5a, E5b, E5)
Konulandırma Durumu	S (Statik)
Konulandırma Modu	SPP/PPP and PPP-AR
Saat ve uydu yörünge ürünleri için Analiz Merkezi	CNES *
Uydu yörünge ve Saat Ürünü	GBM Final ürünleri
Kod ve Faz kayıklığı (bias)	GBM Final ürünü *
Örnekleme Aralığı (s)	30 s
Yükseklik Açısı	10°
Troposferik Model	GPT2_5w+SAAS+VMF1
Islak Zenit Gecikmesi (s)	7200
ISB(inter-system bias)	✓ (Random Walk)
Frekans	L1+L2
Gözlemler	Pseudorange + Carrier phase
Frekanslar Arası Kombinasyon	IF(Iono-Free) (Çift Frekanslı SPP/PPP) P1P2 *
Faz sıçrama Methodu	DD or GF+MW
Gözlemlerin stokastik Modeli	Ele(a+b/sind(Ele))
Proses Modu	Forward
Mod *	Long Baseline (Dual/Triple)
AR Mod *	Continuous
Kısmi AR *	Data Driven Par AR
Oran *	1.5

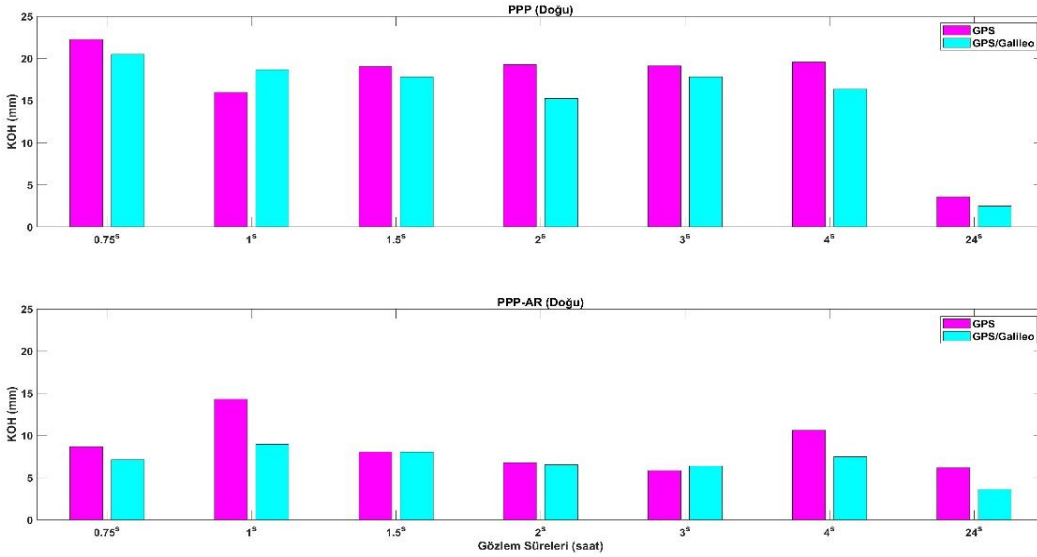
PPP-AR yöntemi için sadece gerekli parametre ve değişkenler yukarıda * ile gösterilmiştir.

Sonuç olarak ASCG noktasına ait üç bileşende de gözlem sürelerinin artmasıyla konum duyarlılığının iyileştiği görülmüştür. Bu noktaya ait hem yatay konum bileşenleri hem de düşey bileşenin Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi ile sadece-GPS' e göre iyileştiği görülmüştür. ASCG noktasının KOH değerlerinin, belirlenen eşik değer üzerindeki hata değerleri GPS' e kıyasla GPS/Galileo' nun

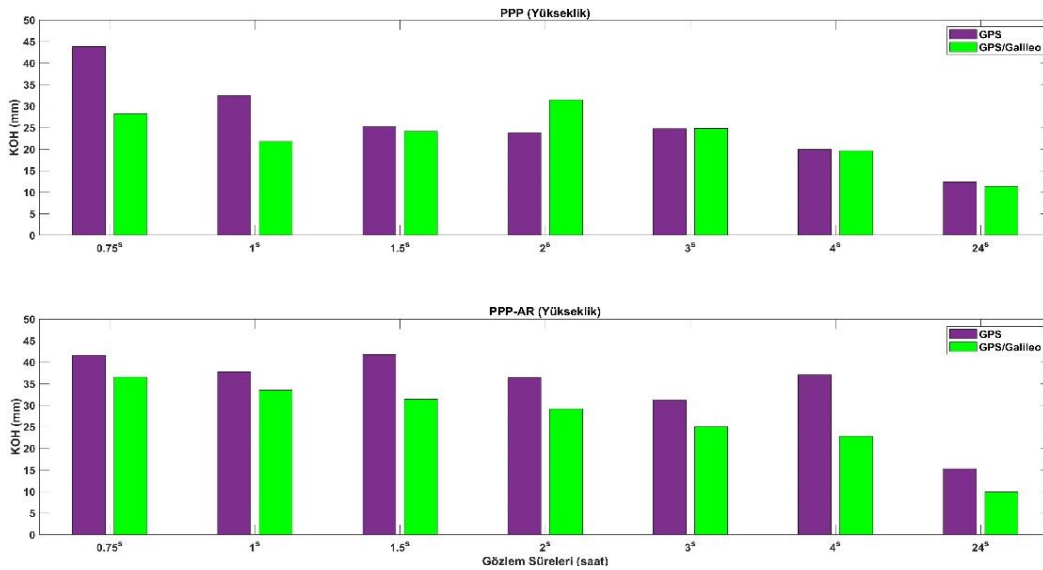
daha az olduğu ayrıca PPP-AR çözümlerinin 0.75 ve 1 saatlik kısa zamanlı ölçülerde eşik değer üzerinde KOH değerlerinin çıktığı fakat uzun zamanlı çözümlerde olmadığı görülmüştür. Şekil 5'de DYNG noktasının Kuzey bileşenine ait GPS ve GPS/Galileo uydu kombinasyonu gözlem verileri kullanılarak farklı gözlem sürelerindeki PPP ve PPP-AR çözümlerinden hesaplanan KOH değerleri birbiriyle kıyaslandığında, hem PPP hem de PPP-AR çözümünden, GPS gözlemlerine Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi ile beraber genelde koordinat duyarlılığının arttığı görülmüştür. GPS/Galileo ile yapılan PPP-AR çözümlerinde 0.75 saatlik ve 1.5 saatlik ölçü süresinde GPS ile yapılan çözümlere kıyasla mm seviyesinin altında bir artışın olduğu bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca aynı gözlem sürelerinde PPP-AR çözümlerden elde edilen sonuçlar ile hesaplanan KOH değerlerinin PPP çözümlerden hesaplanana göre konum duyarlılığının daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum GPS ve GPS/Galileo uydu kombinasyonları için geçerlidir. Bu noktaya ait Kuzey bileşeninin GPS gözlemleri ile PPP çözümlerinde 3.3 mm ile 15.8 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 2.4 mm ile 3.9 mm arasında değişmiştir. Bununla birlikte GPS/Galileo gözlemleri ile PPP çözümlerinde 2.1 mm ile 13.7 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 1.7 mm ile 2.9 mm arasında değiştiği gözlemlenmiştir. DYNG noktasının Kuzey bileşenindeki benzer durumlar Doğu bileşeninde de görülmektedir. GPS gözlemlerine Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi özellikle PPP sonuçlarını iyileştirmiştir. Bazı gözlem sürelerinde sadece-GPS gözlemlerinin PPP-AR çözümlerinde GPS/Galileo gözlemlerine göre düşük olduğu görülse de bu farkların genellikle mm altında olduğu görülmüştür. Bu farkın oluşmasında gözlem dosyasında bulunan kod ve faz gözlemlerinin, CNES analiz merkezinin ürettiği kod ve faz kayıklığı(bias) dosyasında bulunan faz ve kod ölçülerine getirilen düzeltmelerin bulunmadığı ya da Galileo uydularından gelen sinyallerde faz ölçülerinin gözlem dosyasında bulunmamasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Buda PPP yöntemine kıyasla PPP-AR yönteminde aynı uydu kombinasyonunda görünür uydu sayısının daha



Şekil 2. ASCG noktasının Kuzey bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.



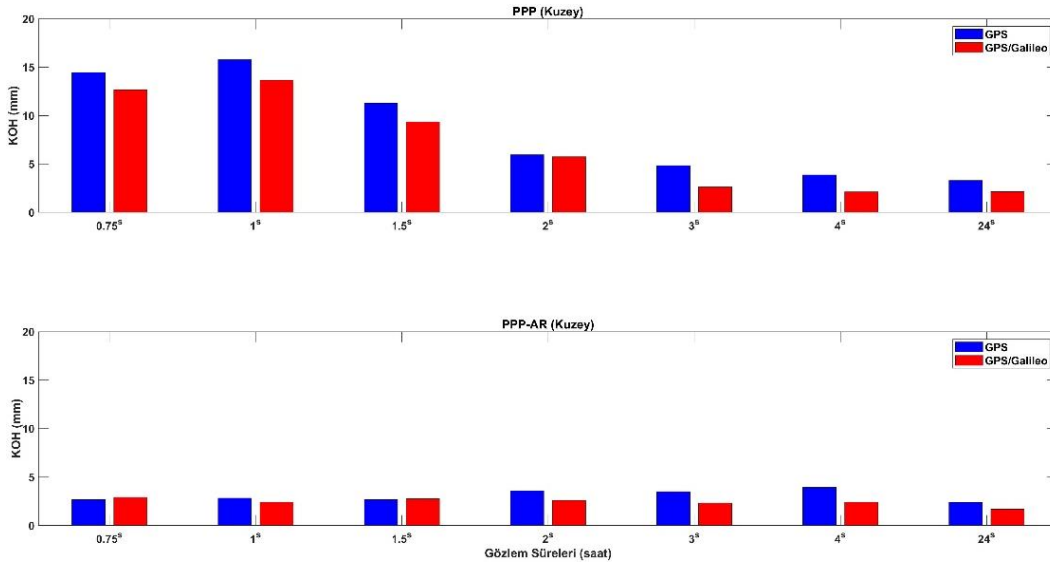
Şekil 3. ASCG noktasının Doğu bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.



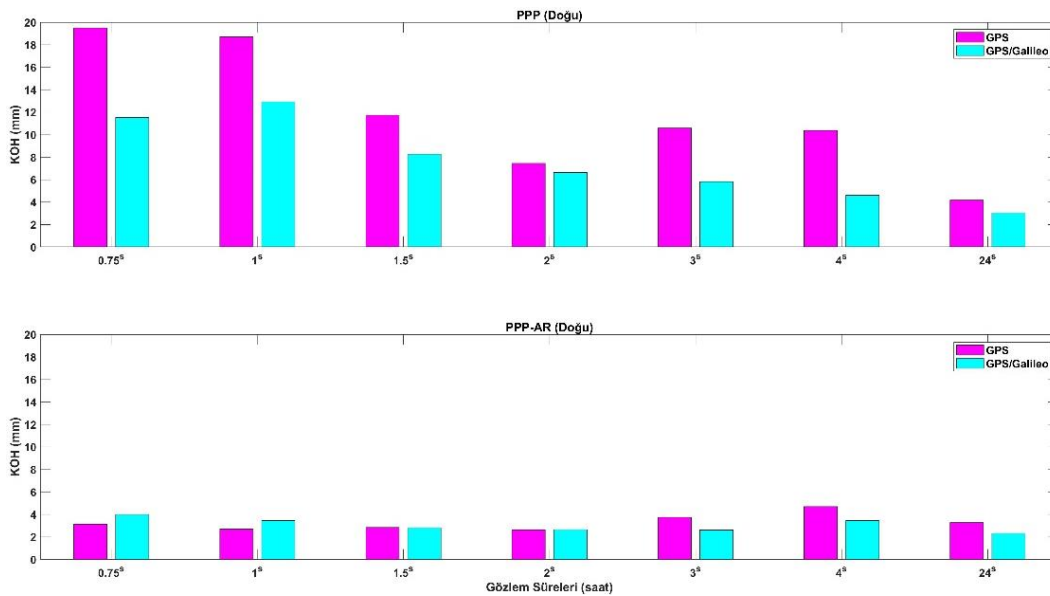
Şekil 4. ASCG noktasının Yükseklik bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.

düşük olduğu anlamına gelmektedir. Bu detaya ilişkin bilgiler ilerleyen kısımda ayrıca incelenmiştir. Ayrıca PPP-AR çözümlerinden elde edilen koordinat doğruluğunun özellikle kısa zamanlı ölçülerde PPP yöntemine göre anlamlı bir şekilde daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu noktada, ölçü süresinin PPP-AR sonuçlarında bir etkisi görülmemiş genellikle benzer doğrulukta sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Bu noktaya ait Doğu bileşeninin GPS gözlemleri ile PPP çözümlerinde 4.2 mm ile 19.5 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 2.6 mm ile 4.7 mm arasında değiştiği, GPS/Galileo gözlemleri ile PPP çözümlerinde 3.0 mm ile 12.9 mm arasında, PPP-

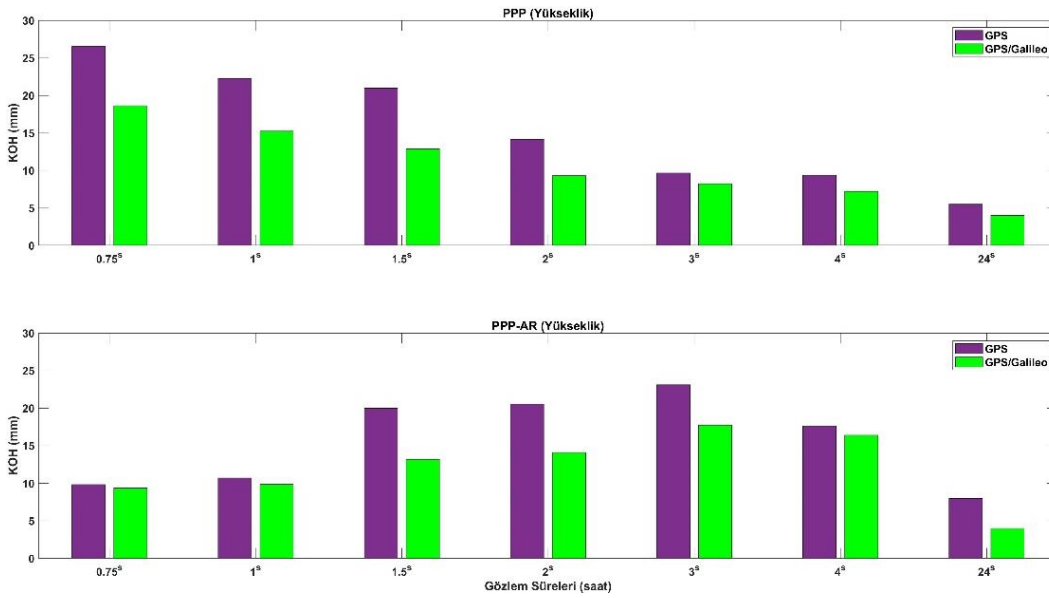
AR çözümlerinde 2.3 mm ile 4.0 mm arasında değişmektedir. DYNG noktasının Yükseklik bileşeninin duyarlılığı, ölçü süresinin artması ile hem GPS hem de GPS/Galileo uydu gözlemlerine ait ölçülerin PPP yönteminde iyileştiği gözlemlenirken, PPP-AR yönteminde bu durum farklılık göstermiştir. Galileo uydu gözlemlerinin GPS gözlemlerine eklenmesi PPP ve PPP-AR sonuçlarını konum doğruluğu açısından iyileştirmiştir. PPP-AR tekniğinin PPP tekniğine kıyasla bu noktaya ait Yükseklik bileşeninin doğruluğunu kısa zamanlı ölçülerde iyileştirdiğini ancak uzun zamanlı gözlemlerde katkı sağlamadığı gözlemlenmiştir. Noktanın yükseklik bileşeninin GPS



Şekil 5. DYNG noktasının Kuzey bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.



Şekil 6. DYNG noktasının Doğu bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.



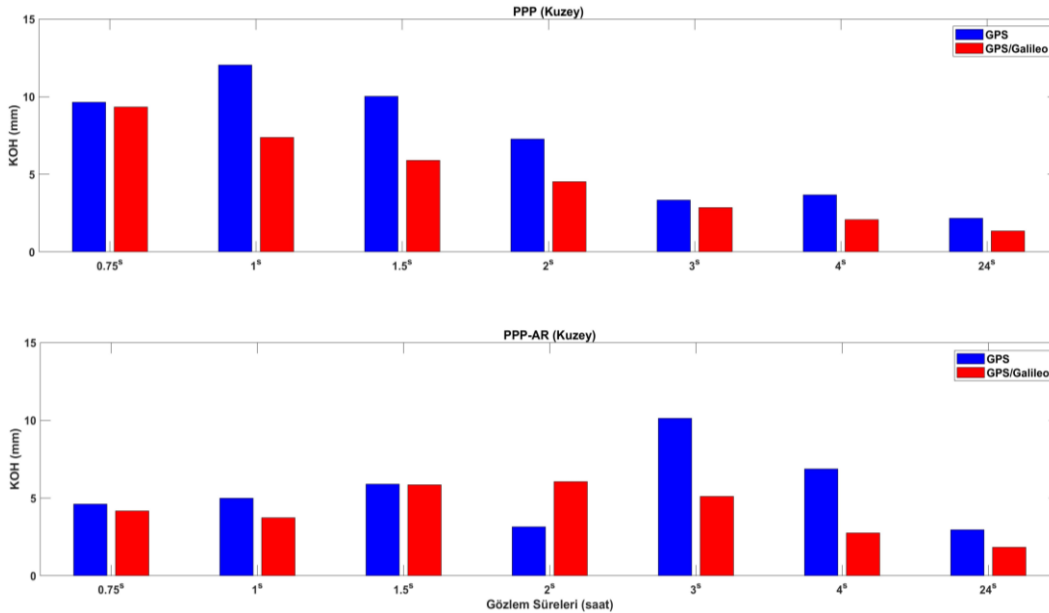
Şekil 7. DYNG noktasının Yükseklik bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.

gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 7.6 mm ile 40.2 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 5.3 mm ile 34.1 mm arasında değişmiştir. Bununla birlikte GPS/Galileo gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 6.1 mm ile 30.6 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 4.0 mm ile 26.4 mm arasında değişmiştir. Sonuç olarak DYNG noktasına ait üç bileşende de PPP çözümünden elde edilen konum duyarlılıklarının gözlem sürelerinin artmasıyla iyileştiği görülmüştür. PPP-AR yönteminden elde edilen sonuçların ise yatay olarak Kuzey ve Doğu bileşenlerinde PPP'ye göre konumsal duyarlılığını arttırdığı gözlemlenmiştir. Fakat Yükseklik bileşeninde PPP-AR'ın kısa ölçü süresi haricinde bir katkısı gözlemlenmemiştir. Bu noktanın KOH değerlerinin, belirlenen eşik değerinin üzerindeki hataların GPS'e kıyasla GPS/Galileo'nun daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca PPP-AR çözümlerinin PPP yöntemine kıyasla, eşik değeri üzerinde KOH değerlerinin sadece-GPS PPP-AR çözümünde 0.75 saatlik ölçülerde olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 8'de METG noktasının Kuzey bileşenine ait GPS ve GPS/Galileo uydu kombinasyonu gözlem verilerinin hem PPP hem de PPP-AR çözümünden hesaplanan KOH değerleri birbiriyle kıyaslandığında, GPS gözlemlerine Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi ile beraber genelde koordinat duyarlılığının arttığı görülmüştür. GPS/Galileo PPP-AR çözümlerden elde edilen konum doğruluklarının kısa zamanlı

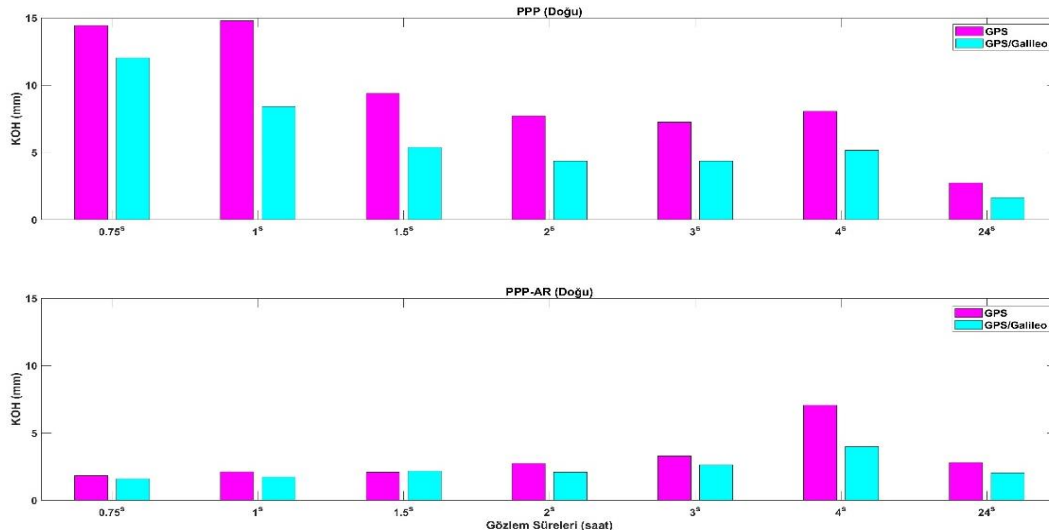
ölçü sürelerinde (0.75, 1 ve 1.5) GPS/Galileo PPP ile yapılan çözümlere kıyasla iyileşmektedir. Ayrıca uzun zamanlı ölçülerde şekilde de görüldüğü gibi PPP çözümünün PPP-AR çözüme göre GPS ve GPS/Galileo uydu kombinasyonlarıyla elde edilen KOH değerlerinin daha düşük olduğundan dolayı konumsal doğruluğun iyileştiği görülmüştür. Bu noktaya ait Kuzey bileşeninin GPS gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 2.2 mm ile 12.0 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 3.0 mm ile 10.1 mm arasında değişmiştir. Bununla birlikte GPS/Galileo gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 1.4 mm ile 9.3 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 1.8 mm ile 6.1 mm arasında değişmiştir. Şekil 9'da açıkça görüldüğü gibi METG noktasında, GPS gözlemlerine Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi ile PPP ve PPP-AR çözümünde GPS gözlemlerine göre iyileşmenin olduğu, ayrıca PPP-AR çözümlerinden türetilen koordinat duyarlılığının tüm ölçü sürelerinde, PPP yöntemine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle kısa zamanlı ölçülerde bu durum daha belirgin gözlemlenebilmektedir. Ölçü süresinin artması PPP ile elde edilen doğruluğu arttırırken PPP-AR çözümlerinde ölçü süresinin doğruluğu arttırdığı gözlemlenmemiştir. Bu noktaya ait Doğu bileşeninin GPS gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 2.7 mm ile 14.8 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 1.8 mm ile 7.1 mm arasında değiştiği, GPS/Galileo gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 1.6 mm ile 12.0

mm arasında, PPP-AR çözümlerinde ise 1.6 mm ile 4.0 mm arasında değiştiği gözlemlenmiştir. METG noktasının Yükseklik bileşeninin duyarlılığı, ölçü süresinin artması ile hem GPS hem de GPS/Galileo uydu gözlemlerine ait ölçülerin PPP yönteminde iyileştiği gözlemlenirken, PPP-AR yönteminde bu durum farklılık göstermiştir. Galileo uydu gözlemlerinin GPS gözlemlerine eklenmesi hem PPP hem de PPP-AR sonuçlarını doğruluk açısından iyileştirmiştir. PPP-AR çözümünün PPP yöntemine kıyasla bu noktanın Yükseklik bileşeninin doğruluğunu kısa zamanlı ölçülerde iyileştirdiğini ancak uzun zamanlı gözlemlerde katkı sağlamadığı gözlemlenmiştir. Bu noktaya ait Yükseklik bileşeninin GPS gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 5.5 mm ile 26.5 mm arasında, PPP-

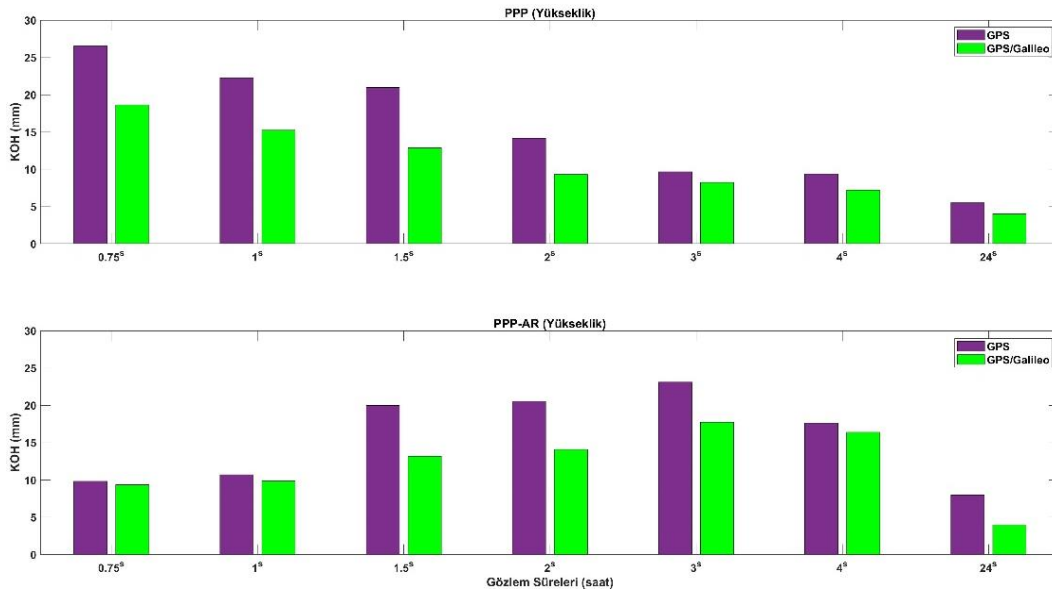
AR çözümlerinde 8.0 mm ile 23.1 mm arasında değiştiği görülmüştür. Bununla birlikte GPS/Galileo uydu gözlemleri ile PPP çözümlerinde KOH değerleri 4.0 mm ile 18.6 mm arasında, PPP-AR çözümlerinde 4.0 mm ile 17.8 mm arasında çıkmaktadır. Sonuç olarak METG noktasına ait üç bileşende de PPP ve PPP-AR çözümlerinden elde edilen konum duyarlılıklarının tüm gözlem sürelerinde Galileo uydu gözlemlerinin eklenmesi ile iyileştiği görülmüştür. PPP-AR yönteminden elde edilen sonuçların ise Kuzey ve Doğu bileşenlerinde PPP'ye göre genel olarak konum duyarlılığını arttırdığı gözlemlenmiştir. Fakat Yükseklik bileşeni için katkı sağlamamıştır. Sürekli gözlem yapan ASCG, DYNG ve METG IGS noktalarına ait değerlendirme sonuçlarından yatay



Şekil 8. METG noktasının Kuzey bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.



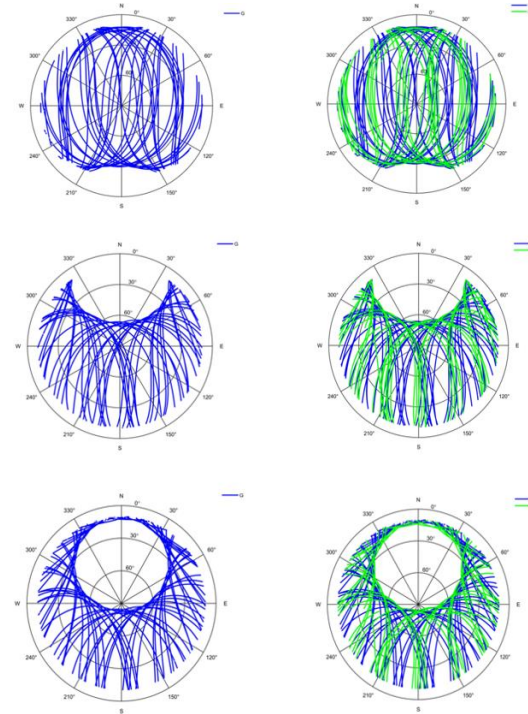
Şekil 9. METG noktasının Doğu bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.



Şekil 10. METG noktasının Yükseklik bileşeninin tüm gözlem sürelerine ait KOH değerleri.

konumda Kuzey ve Doğu bileşeninin GPS uydusuna Galileo uydusunun eklenmesi ile konumsal duyarlılığı ne derece iyileştirdiği, ölçü süresine göre katkısının farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca üç noktanın PPP-AR yöntemi ile değerlendirme yapılırken, kısa zamanlı ölçülerde PPP' ye kıyasla katkısı açısından farklılıklar görülmüştür. Örneğin, METG noktasının Doğu bileşeninin PPP yöntemi ile proseslerinde 0.75, 1, 1.5, 2, 3 ve 4 saatlik gözlem sürelerinde ölçülerin KOH değerlerini iyileştirirken, ASCG noktasının aynı bileşeninde 0.75, 1, 3 ve 4 saatlik periyotlarda anlamlı derecede iyileşmeler görülmektedir. DYNG noktasında ise Doğu bileşeninde 0.75, 1, 1.5, 3 ve 4 saatlik gözlem sürelerinde Galileo uydularının eklenmesi ile sadece-GPS' e göre konumsal duyarlılığın daha iyi olduğu görülmüştür. Bu noktaların diğer bileşenlerinde de PPP yöntemi ile değerlendirilirken farklı gözlem sürelerinde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Bu farklılıkların sebepleri, 3 IGS noktasının farklı enlem bölgelerinde olmasından dolayı uydu ile alıcı arasındaki atmosferik etkinin farklı olması, GPS ve Galileo uydu sayısının ve uydu geometrisinin farklılık göstermesi, GNSS alıcılarının bulunduğu noktaların çevresindeki yansıtıcı nesnelerin farklılık göstermesi gibi etkiler sayılabilir. Noktaların hem sadece-GPS hem de GPS/Galileo uydu izlerini gösteren grafikleri aşağıda verilmiştir. Şekil 11' e bakıldığında, ASCG noktasında 24 saatlik

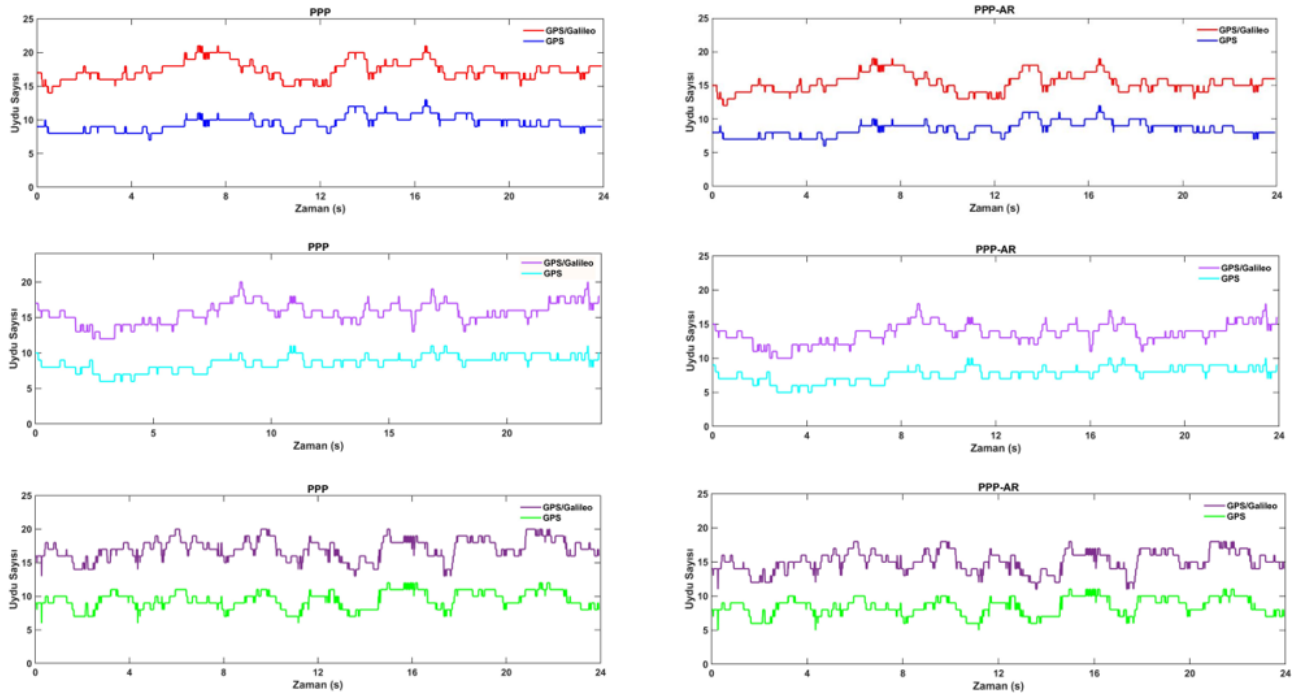
GPS uydu geometrisinin, alıcının bulunduğu yere göre gökyüzünü kaplarken, DYNG noktasında Kuzey yönlü boşlukların olduğu, bu boşluğun yüksek enlemdeki METG noktasında daha da fazla olduğu görülebilir. Galileo uydularının eklenmesi ile kuzey yönlü uydu taramasının kısmen boşlukları doldurmaktadır. Bunun sebebi GPS ile Galileo uydularının ekvator ile yaptıkları açının birbirine yakın olmasından kaynaklanmaktadır (GPS: 55°; Galileo: 56°).



Şekil 11. ASCG, DYNG, METG (üstten alta doğru) 24 saatlik uydu izi.

3 noktaya ait uydu geometrisinden de görüldüğü gibi GPS ve Galileo uydu sistemlerinin farklı enlemlerde uydu izlerinin ve uydu geometrisinin farklılık gösterdiğini ve konum doğruluğuna etkisi açıklanmaktadır. Bununla birlikte sonuçlar gösteriyor ki 3 IGS noktasının PPP ve PPP-AR ile değerlendirildiğinde, Galileo ölçülerinin dahil edilmesiyle konum duyarlılığını iyileştirmiştir. Ayrıca anlamlı derecede iyileşmelerin kısa zamanlı gözlem sürelerinde daha belirgin olduğu görülmüştür. Noktaların PPP-AR yöntemi ile değerlendirilmesinde Şekil 12’de görüldüğü gibi PPP’ ye kıyasla ortalama uydu görünümü sayısı azalmaktadır. Bunun sebebi, gözlem dosyasında bulunup, kod ve faz kayıklığı (bias) dosyasında uyduların faz ölçülerine ait düzeltmelerin

bulunmadığı durumlarda yazılım o uyduyu değerlendirmeye katmamaktadır. Değerlendirme aşamasında PPP-AR ile çözüm yapıldığında kullanılacak bias ürün dosyasındaki kod ve faz frekanslarını destekleyen ölçüler önem taşımaktadır. Şekil 12’de gösterilen 24 saatlik uydu sayılarının minimum, maksimum olduğu durumlar ile ortalama uydu sayısı Çizelge 4’de gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında PPP-AR çözümlerinin her durumda PPP çözümlerine göre proses aşamasında çözüme kattığı uydu sayısı azalmıştır. Fakat bu durum PPP-AR sonuçlarının doğruluğunda olumsuz bir etki oluşturmamış, PPP-AR sonuçlarının PPP sonuçlarına göre özellikle yatay konum bileşenleri açısından daha doğru sonuçlar ürettiği görülmüştür.



Şekil 12. ASCG, DYNG, METG (üstten alta doğru) noktalarının 24 saatlik uydu sayısı grafiği.

Çizelge 4. IGS istasyonlarına ait 24 saatlik çözüm baz alınarak hesaba katılan maksimum, minimum ve ortalama uydu sayısı.

Nokta Adı	PPP						PPP-AR					
	GPS			GPS/Galileo			GPS			GPS/Galileo		
	Min	Max	Ort.	Min	Max	Ort.	Min	Max	Ort.	Min	Max	Ort.
ASCG	7	13	9.6	14	21	17.4	6	12	8.6	12	19	15.4
DYNG	6	11	8.6	12	20	15.7	5	10	7.6	10	18	13.7
METG	6	12	9.5	13	20	17.1	5	11	8.5	11	18	15.1

4. Sonuç

Bu çalışmada, PPP ve PPP-AR yöntemlerinin GPS, GPS/Galileo uydu kombinasyonlarının ölçü süresine bağlı konum belirleme doğrulukları üç

farklı enlemdeki ardışık 15 günlük IGS istasyonu GNSS gözlemleri kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda çıkarılan sonuçlar (1) PPP ve PPP-AR, (2) ölçü süresi ve (3) Galileo

uydu gözlemlerinin katkısı açısından aşağıda açıklanmıştır. Beklendiği üzere uydu sayısı ve ölçüm süresi arttıkça KOH değerleri azalarak daha hassas konum ve yükseklik bilgileri elde edilmiştir. PPP yönteminde ölçü süresi arttıkça ulaşılan konum doğruluğunun arttığı bu çalışma ile bir kez daha ortaya çıkarılmıştır. PPP-AR yönteminde ölçü süresinin artmasının konum doğruluğuna etkisi belirgin olarak gözlemlenmez iken, kısa ölçü süresinde (0.75 ve 1 saat) bazı günlerde yanlış değere sabitlendiği gözlemlenmiştir. GPS ve GPS/Galileo çözümleri incelendiğinde tüm ölçü sürelerinde GPS/Galileo çözümlerinin hem PPP hem de PPP-AR yönteminde konum doğruluğunu iyileştirdiği görülmüştür. Özellikle kısa ölçü süresinde Galileo'nun konum doğruluğunu belirgin şekilde iyileştirdiği ve ayrıca çalışmada seçilen eşik değeri aşan çözüm sayısının GPS' li çözümlere göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada incelenen bir diğer durum da PPP ve PPP-AR yöntemlerinin konum doğruluğu açısından karşılaştırılmasıdır. Bu bağlamda KOH değerleri göz önüne alındığında, PPP-AR yöntemi PPP yöntemine göre özellikle yatay bileşen açısından daha duyarlıklı ve gerçek değere yakın sonuçlar vermiştir. Özellikle, tüm ölçü sürelerinde olmakla birlikte, özellikle kısa süreli gözlem periyotlarında (0.75-1 saatlik ölçü sürelerinde) PPP-AR yönteminin PPP yöntemine göre daha duyarlıklı sonuç verdiği görülmüştür. Ölçü süresi arttıkça PPP ve PPP-AR yöntemleriyle elde edilen sonuçların birbirlerine yakınsamakta olduğu gözlemlenmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar üzerinden bakıldığında kısa süreli ölçümler yapılması durumunda PPP yöntemi yerine PPP-AR yönteminin kullanılması daha hassas sonuçlar vereceğinden dolayı tercih edilebilir. Ayrıca tek bir uydu sistemi yerine çoklu uydu kombinasyonu kullanımı sayesinde daha hassas sonuçlar elde etmek mümkün olmakta ve bu bağlamda yüksek doğrulukta konum bilgisi üretmek için çoklu GNSS yöntemi tercih edilmesi daha uygun olacaktır. Ayrıca PPP-AR yöntemi için değerlendirme yaparken kullanılan alıcının toplayabildiği sinyal yapısı önemlidir. PPP-AR yöntemi ile verileri değerlendirebilmek için gerekli olan bias dosyasındaki sinyallere getirilen düzeltmelerin,

GNSS alıcısı tarafından toplanıyor olması gerekmektedir.

Bu yüzden kullanıcılar PPP-AR yöntemini tercih etmeleri durumunda hangi analiz merkezinin ürettiği bias ürününü kullanacaksa ona göre GNSS alıcısı seçimi yapması gerektiğini bilmelidir.

Sonuç olarak GPS/Galileo uydu kombinasyonun kısa zamanlı ölçülerde PPP-AR yönteminin daha yüksek doğrulukta sonuçlara ulaşabileceği görülmüştür. Günümüz bilimsel çalışmalarında, özellikle lokal ve küresel ölçekteki deformasyon ölçmelerinde ve yer kabuğu hareketlerinin izlenmesinde, sürekli gözlem yapan GNSS ağ noktalarının zamana bağlı değişimlerinin izlenmesinde ve tespit edilmesinde, yersel veya hava fotogrametrisinde yer kontrol noktalarının koordinatlarının belirlenmesinde v.b. birçok alanda GPS-PPP yerine GPS/Galileo-PPP-AR yönteminin tercih edilmesi hem ölçü süresinin kısaltması hem de konumsal doğruluğun yüksek olmasını sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmada PPP ve PPP-AR çözümlerinde kullanılan açık kaynak Net_Diff yazılımı (Int Kyn. 3) için Dr. Yize Zhang'a teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

- Anquela, A.B., Martin, A., Berne, J.L., Padin, J., 2013. GPS+GLONASS Static and Kinematic PPP Results, A Case Study. *Journal of Surveying Engineering*, **139**(1), 47-58.
- Bulbul, S., Bilgen, B., Inal, C., 2021. The performance assessment of Precise Point Positioning (PPP) under various observation conditions. *Measurement*, **171**, 108780.
- Cai, C., Gao, Y., 2007. Precise point positioning using combined GPS and GLONASS observations. *Journal of Global Positioning Systems*, **6**(1), 13-22.
- Cai, C., Gao, Y., 2013. Modeling and assessment of combined GPS/GLONASS precise point positioning. *GPS Solutions*, **17**(2), 223-236.

- Choy, S., Bisnath, S., Rizos, C., 2017. Uncovering common misconceptions in GNSS Precise Point Positioning and its future prospect. *GPS Solutions*, **21**, 13-22.
- Dow, J.M., Neilan, R.E., Rizos, C., 2009. The international GNSS service in a changing landscape of global navigation satellite systems. *Journal of Geodesy*, **83**(3-4), 191-198.
- Gao, Y., 2006. Precise point positioning and its challenges, aided-gnss and signal tracking. *Inside GNSS*, **1**, 16-18.
- Ge, M., Zhang, H., Jia, X., Song, S., Wickert, J., 2012. What is achievable with current COMPASS constellations ?, *Proceedings of the 25th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2012)*, Nashville, TN, 331-339.
- Geng, J., Guo, J., Meng, X., Gao, K., 2020. Speeding up PPP ambiguity resolution using triple-frequency GPS/BeiDou/Galileo/QZSS data. *Journal of Geodesy*, **94**(6), 1-15.
- Guo, F., Li, X., Zhang, X., Wang, J., 2017. Assessment of precise orbit and clock products for Galileo, BeiDou, and QZSS from IGS Multi-GNSS Experiment (MGEX). *GPS Solutions*, **21**, 279-279.
- Hackel, S., Steigenberger, P., Hugentobler, U., Uhlemann, M., Montenbruck, O., 2013. Galileo orbit determination using combined GNSS and SLR observations. *GPS Solutions*, **19**(1), 15-25.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E., 2008. GNSS-Global Navigation satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo & more. *Springer*, Wien, Newyork, 516.
- Katsigianni, G., Loyer, S., Perosanz, F., 2019. PPP and PPP-AR Kinematic Post-Processed Performance of GPS-Only, Galileo-Only and Multi-GNSS. *Remote Sensing*, **11**, 2477.
- Koca, B., Ceylan, A., 2018. Uydu Konum Belirleme Sistemlerindeki(GNSS) Güncel Durum ve Son Gelişmeler. *Geomatik*, **3**(1), 63-73.
- Kouba, J. and Héroux, P., 2001. GPS Precise Point Positioning using IGS orbit products. *GPS Solutions*, **5**(2), 12-28.
- Li, M., Qu, L., Zhao, Q., Guo, J., Su, X., Li, X., 2014. Precise point positioning with the BeiDou navigation satellite system. *Sensors*, **14**(1), 927-943.
- Li, P., Zhang, X., Guo, F., 2017. Ambiguity resolved precise point positioning with GPS and BeiDou. *Journal of Geodesy*, **91**, 25-40.
- Li, X., Li, X., Yuan, Y., Zhang, K., Zhang, X., Wickert, J., 2018. Multi-GNSS phase delay estimation and PPP ambiguity resolution: GPS, BDS, GLONASS, Galileo. *Journal of Geodesy*, **92**, 579-608.
- Li, R., Zheng, S., Wang, E., Chen, J., Feng, S., Wang, D., Dai, L., 2020. Advances in BeiDou Navigation Satellite System (BDS) and satellite navigation augmentation Technologies. *Satellite Navigation*, **1**, 12.
- Lou, Y., Zheng, F., Gu, S., Wang, C., Guo, H., 2016. Multi-GNSS precise point positioning with rawsingle-frequency and dual-frequency measurement models. *GPS Solutions*, **20**, 849-862.
- Montenbruck, O., Steigenberger, P., Khachikyan, R., Weber, G., Langley, R.B., Mervart, L., Hugentobler, U., 2014. IGS-MGEX: preparing the ground for multi-constellation GNSS science. *Inside GNSS*, **9**(1), 42-49.
- Neilan, R., Fisher, S., Khachikyan, R., Ceva, J., Craddock, A., Donnelly, N., Maggert, D., Walia, G., 2013. IGS technical report 2012 Central Bureau. *IGS technical report*, 13-18.
- Pırtı, A., Hoşbaşı, R.G., Şenel, B., Köroğlu, M., Bilim, S., 2021. Galileo uydu sistemi ve sinyal yapısı. *Journal of Geomatics*, **6**(3), 207-216.
- Psychas, D., Verhagen, S., Teunissen, P.J.G., 2020. Precision analysis of partial ambiguity resolution-enabled PPP using multi-GNSS and multi-frequency signals. *Advances in Space Research*, **66**, 2075-2093.
- Rizos, C., Montenbruck, O., Weber, R., Neilan, R., Hugentobler, U., 2013. The IGS MGEX experiment as a milestone for a comprehensive multi-GNSS

service. *Institute of Navigation*, Honolulu, HI, 289-295.

Hobiger, T., Jakowski N., 2017. Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Ed:Teunissen, P., Montenbruck, O., *Springer*, **59**, 165-193.

Xia, F., Ye, S., Xia, P., Zhao, L., Jiang, N., Chen, D., Hu, G. 2019. Assessing the latest performance of Galileo-only PPP and the contribution of Galileo to Multi-GNSS PPP. *Advances in Space Research*, **63**, 2784–2795.

Yigit, C.O., Gikas, V., Alcay, S., Ceylan, A., 2014. Performance evaluation of short to long term GPS, GLONASS and , GPS/GLONASS post-processed PPP. *Survey Review*, **46**(3), 155-166.

Yigit, C.O., Kizilarlan, M., Caliskan, E., 2016. GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performanslarının Ölçü Süresine Bağlı Olarak Değerlendirilmesi. *Electronic Journal of Map Technologies*, **8**(1), 23-29.

Yionoulis, S.M., 1998. The Transit Satellite Geodesy Program. *Johns Hopkins University APL Technical Digest*, **19**(1), Washington.

Zhao, Q., Guo, J., Li, M., Qu, L., Hu, Z., Shi, C., Liu, J., 2013. Initial results of precise orbit and clock determination for COMPASS navigation satellite system. *Journal of Geodesy*, **87**(5), 475-486.

İnternet kaynakları

1- https://github.com/YizeZhang/Net_Diff(20.08.2021)

2- <https://cdis.nasa.gov/archive/gnss/data/daily/2020/>
(05.09.2021)

3-<ftp://ftp.gfz-potsdam.de/pub/GNSS/products/mgex>
(30.07.2021)

TUSAGA-Aktif İstasyonlarındaki Meteorolojik Hava Olaylarının Hassas Nokta Konumlamaya Etkisi

Burhaneddin BİLGEN^{1*}, Sercan BÜLBÜL¹, Cevat İNAL¹

¹ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya.

Sorumlu yazar*, e-posta: bbilgen@ktun.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1955-7568>

sbulbul@ktun.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6066-611X>

cinal@ktun.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8980-2074>

Geliş Tarihi: 15.10.2021

Kabul Tarihi: 15.12.2021

Öz

Hassas Nokta Konumlama (PPP), santimetre mertebesinde konum doğruluğu sağlayan bir teknik olarak geliştirilmiş ve günümüzde bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. PPP tekniğinde, tek bir GNSS alıcısından elde edilen ham verilerin hassas uydu yörünge ve saat düzeltmeleri kullanılarak değerlendirilmesi sonucunda cm mertebesinde doğruluk elde edilebilmektedir. Bu çalışmada; Batı, Orta ve Doğu Anadolu'da yer alan ikişer adet TUSAGA-Aktif istasyonundaki meteorolojik hava olaylarının PPP'ye etkisi birden fazla internet tabanlı değerlendirme servisiyle araştırılmış ve sonuçlar istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda; Batı Anadolu'da AFYN ve ESKS, Orta Anadolu'da KAYS ve SIVS, Doğu Anadolu'da ise ERZR ve VAN1 istasyonları seçilmiştir. Bu istasyonlara ait farklı meteorolojik etkiler altında veri kayıt aralığı 30 saniye olan 30 gün 24 saatlik RINEX verileri temin edilmiştir. Temin edilen veriler internet tabanlı PPP servislerinden; Canadian Spatial Reference System – PPP (CSRS-PPP), GNSS Analysis and Positioning Software (GAPS) ve MagicGNSS kullanılarak değerlendirilmiştir. İnternet tabanlı servislerden elde edilen koordinatların gerçek koordinat değerlerinden farkları alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda tüm hava koşullarında MagicGNSS'in en iyi sonuçları verdiği, yağmurlu ve karlı hava koşullarının internet tabanlı PPP servislerinin doğruluğunu etkilediği görülmüştür.

Anahtar kelimeler

Cors-TR; CSRS-PPP;
GAPS; MagicGNSS; PPP

The Effect of Meteorological Weather Events on Precise Point Positioning at TUSAGA-Active Stations

Abstract

Precise Point Positioning (PPP) was developed as a technique that provides high positioning accuracy and has become a widely used method in scientific studies today. In the PPP technique, cm level accuracy can be achieved as a result of evaluating the raw data obtained from a single GNSS receiver using precise satellite orbit and clock corrections. In this study; The effect of meteorological weather events on PPP at two Cors-TR stations located in Western, Central and Eastern Anatolia was investigated and results were statistically compared with each other. For this purpose; AFYN and ESKS in Western Anatolia, KAYS and SIVS in Central Anatolia, ERZR and VAN1 stations in Eastern Anatolia were selected. RINEX data of 30 days and 24 hours with a data recording interval of 30 seconds under different meteorological effects of these stations were obtained. The provided data processed using the Canadian Spatial Reference System – PPP (CSRS-PPP), GNSS Analysis and Positioning Software (GAPS), and MagicGNSS which are the web-based online PPP services. Comparisons were made by taking the differences of the coordinates obtained from web-based online PPP services from the true coordinate values. As a result of the comparisons, it was seen that MagicGNSS gave the best results in all weather conditions, and rainy and snowy weather conditions affected the accuracy of web-based PPP services.

Keywords

Cors-TR; CSRS-PPP;
GAPS; MagicGNSS; PPP

1. Giriş

GNSS (Global Navigation Satellite Systems), bugüne kadar geliştirilmiş küresel konum belirleme ve navigasyon sistemleri bütünü olarak tanımlanmaktadır. Hava şartlarından etkilenmeden sürekli gözlem yapabilen, yeryüzünde tek anlamlı, süratli ve doğru konum belirlemeye olanak veren GNSS jeodezik çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. GNSS ile ölçmeler, alıcı fiyatlarının sürekli düşmesi, planlama ve hesaplama için kullanılan yazılımların tamamen otomatik hale gelmesi ve öğrenme kolaylığı nedeniyle her geçen gün daha popüler hale gelmektedir (Kahveci ve Yıldız 2017).

GNSS ile konum belirlemede bağıl ve mutlak konum belirleme olmak üzere iki farklı yöntem kullanılabilir. Bağıl konum belirleme yönteminde en az iki GNSS alıcısına gereksinim duyulurken, mutlak konum belirlemede tek bir GNSS alıcısı ile konumlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Hassas Nokta Konumlama (PPP), mutlak konum belirleme yöntemlerinden biri olup, sıfır fark yönteminin özel bir durumu olarak son on yıldır birçok uygulamada kullanılmaktadır (Alçay 2019, Cai and Gao 2013). PPP, tek bir GNSS alıcısı ile uydu ve saat düzeltmelerini kullanarak, mutlak ve yüksek konumlama doğruluğu sağlayan bir teknik olarak geliştirilmiştir. Bu yöntemde, kod ve taşıyıcı faz gözlemleri birlikte kullanılarak çift frekanslı tek bir alıcı ile cm/dm seviyesinde nokta konumlama doğruluğu elde edilebilmektedir (Gelişkan 2019). PPP yönteminde; dağlık bölgeler, ormanlık alanlar, yüksek yapıların bulunduğu şehir içleri, açık maden ocakları, açık gökyüzü olup da zayıf uydu geometrisinin olduğu bölgeler konum belirleme doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

PPP ile konum belirlemenin geçmişi 1976 yılına dayanmaktadır. Fakat 1990'lı yıllarda çift frekanslı alıcıların ortaya çıkmasından itibaren yaygınlaşmaya başlamıştır. 1976 yılında Anderle, Doppler etkisinden yararlanarak uydu yörüngesini 2 metre doğruluk ile hesaplayabilmiştir (Anderle 1976). Yapılan çalışma yüksek bir doğruluk taşımamasına rağmen, PPP kavramının ilk kez ortaya çıkışına neden olmuştur. 1990'lı yıllarda hassas yörünge ve saat bilgileri elde edilmeye başlanmıştır. 1997

yılında çift frekanslı alıcıların ortaya çıkışı ile iyonosferden kaynaklanan hatalar modellenebilmiştir (Baybura *et al.* 2019, İnyurt 2020). 2000 yılında da GPS (Global Positioning System) uydu sinyalleri üzerindeki Seçimli Doğruluk Erişimi (SA: Selective Availability) kaldırılmıştır (Xu *et al.* 2011). Bu gelişmeler, konumlama doğruluğunun artmasına katkıda bulunmuştur.

Son yıllarda giderek popülaritesi artan PPP yöntemi birçok bilimsel çalışmaya da konu olmuştur. Alkan vd. (2020), farklı GNSS uydu sistemlerinin PPP tekniğinin performansına etkisini, Bahadır ve Nohutçu (2019) ise, Galileo uydu sisteminde hassas nokta konumlama yönteminin performans değerlendirmesini (Türkiye için) araştırmışlardır. Atalay (2018) anlık şiddetli yağışların GPS konum doğruluğu üzerine etkisini, Aykut (2018) ise meteorolojik değişimin PPP konum belirleme üzerindeki etkisini araştırmıştır. Najmulden (2017) web tabanlı GNSS değerlendirme servislerinde PPP tekniğini, Saraçoğlu (2016) ise farklı mevsimlerde elde edilen GPS ölçülerini değerlendirerek mevsimsel değişimin küresel ölçekte GPS konum doğruluğu üzerindeki etkisini incelemiştir. Selbesoğlu ve Gümüş (2016), PPP tekniği ile Ağ RTK tekniğinden elde edilen yükseklik bileşeninin doğruluğunu, Yiğit vd. (2016) ise CSRS-PPP yazılımının uzun dönemli GNSS zaman serilerinin oluşturulmasında ve nokta hızlarının kestirilmesinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Alçay vd. (2013) CSRS-PPP, MagicGNSS ve APPS web tabanlı yazılımların statik PPP modüllerini karşılaştırmışlardır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak birden fazla istasyonda, birden fazla internet tabanlı değerlendirme servisiyle meteorolojik hava olaylarının PPP'ye etkisi araştırılmış ve sonuçlar istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. İklim koşullarının bölgeden bölgeye değişmesi ve yükseltinin de bu koşullardaki etkisi nedeniyle Batı, Orta ve Doğu Anadolu' da bulunan ikişer adet TUSAGA-Aktif istasyonu seçilmiştir. Bu istasyonlardan 30' ar günlük karlı, yağmurlu ve güneşli hava koşullarında, veri kayıt aralığı 30 saniye olan 30 gün 24 saatlik RINEX verileri temin edilmiştir. Temin edilen veriler internet tabanlı PPP servisleri olan CSRS-PPP, MagicGNSS ve

GAPS servislerine gönderilerek istasyon koordinatları elde edilmiştir. Elde edilen koordinatlar gerçek değerleri ile karşılaştırılmış ve farklı meteorolojik hava olaylarının internet tabanlı PPP servislerinin doğruluğunu ne şekilde etkiledikleri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1 Hassas nokta konumlama tekniği ve internet tabanlı PPP servisleri

Mutlak konum belirleme yöntemlerinden biri olan PPP, 1997 yılında ilk defa Zumberge vd. (1997) tarafından kod ve taşıyıcı faz gözlemleri birlikte kullanılarak tek GNSS alıcısıyla gerçekleştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemle, statik veya kinematik modda cm ile dm seviyesinde konumsal doğruluk elde edilebilmektedir. PPP yönteminin kullanımı, farklı bilimsel ve pratik uygulama alanlarında gün geçtikçe yaygınlaşmasına rağmen, yakınsama süresinin uzun olması ve ticari yazılımlarda PPP işleme modunun kullanılmamasından dolayı bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. Yöntemin kullanımının kolay olması nedeniyle, PPP tekniği ile ilgili çalışmaların sayısı giderek artmaktadır (Alkan vd. 2016).

PPP yönteminde gerekli olan uydu yörünge ve saat bilgileri küresel hizmet veren sabit GPS/GNSS referans istasyonları ağından sağlanmaktadır. Bu noktada, PPP için gerekli olan hassas yörünge ve saat bilgilerinin en önemli kaynağı Uluslararası GNSS Servisi (IGS) 'dir (Pan *et al.* 2014). Bunun dışında Satellite Based Augmentation System (SBAS) ile bütünleşmiş olan kamusal ya da ticari diğer referans istasyonu ağları da yörünge ve saat bilgileri sağlamaktadırlar (Ebner 2008). PPP yönteminde tek frekanslı alıcılara toplanan verilerinin değerlendirilmesiyle metre seviyesinde konum doğruluğuna ulaşabilirken, çift frekanslı alıcılara cm-dm mertebesinde doğruluklar elde edilebilmektedir. Ancak bu doğrulukların elde edilebilmesi için alıcı saat hatası, troposferik gecikme, uydu anten ofsetleri, taşıyıcı faz etkisi, gelgit etkileri gibi birçok diğer etkinin de dikkate alınması gerekmektedir (Alkan ve Kalkan 2011, Kouba and Héroux 2001).

GNSS verilerinin PPP yöntemiyle işlenmesi amacıyla bilimsel yazılımlar ve bununla birlikte, son on yılda, düşük maliyet, kullanım kolaylığı ve hızlı çözüm üretmesi gibi nedenlerle yaygınlaşan internet tabanlı PPP servisleri kullanılabilmektedir. İnternet tabanlı servisler sayesinde kullanıcılar, gerekli veri formatını e-posta yoluyla göndererek veya doğrudan servislerin web sitesine yükleyerek, istasyon koordinatları ve sonuç raporları gibi bilgileri kısa sürede elde edebilmektedirler.

Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning (CSRS-PPP), GNSS ham gözlem verilerinden yüksek hassasiyetli konum hesaplamalarına olanak tanıyan ücretsiz internet tabanlı ölçü sonrası veri değerlendirme servisi. Hem statik hem kinematik modda tek ya da çift frekanslı sabit ya da hareketli platformda toplanmış GNSS (GPS ve GLONASS) verilerini değerlendirmektedir (Choy *et al.* 2013, Dawidowicz and Krzan 2014, İnyurt ve Ulukavak 2020). CSRS-PPP, verileri değerlendirdikten sonra görsel çıktılar ve genişletilmiş analizlerden oluşan sonuç raporlarını kullanıcıya e-posta yoluyla göndermektedir. Bu raporlar hem özet hem de detaylı bilgiler içermektedir.

İspanya menşeli GMV Aerospace and Defense Company tarafından geliştirilen MagicGNSS değerlendirme servisi ise, 2008 yılında kullanıma sunulmuştur. İnternet tabanlı olarak hizmet veren MagicGNSS'in ücretsiz olan e-posta servisi aracılığıyla GPS ve GLONASS uydularından alınan veriler değerlendirilebilirken, belirli bir ücret ödeyerek kayıt yaptıran kullanıcılar GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou ve QZSS uydularından alınan verileri de değerlendirebilmektedir. Statik ve kinematik değerlendirme seçeneklerine sahip servis, IGS ve GMV'nin ürettiği uydu yörünge ve saat ürünlerini kullanarak gönderilen çift frekanslı GNSS verilerini değerlendirmektedir. Servis, RINEX 2.xx ve 3.xx formatındaki GNSS verilerini kabul etmektedir. İşlemin tamamlanmasının ardından PPP koordinatları ve değerlendirme işlemine ait pek çok istatistiksel bilgiyi de içeren rapor ve grafikler, e-posta ile kullanıcılara kısa bir süre içerisinde gönderilmektedir (Alkan vd. 2020).

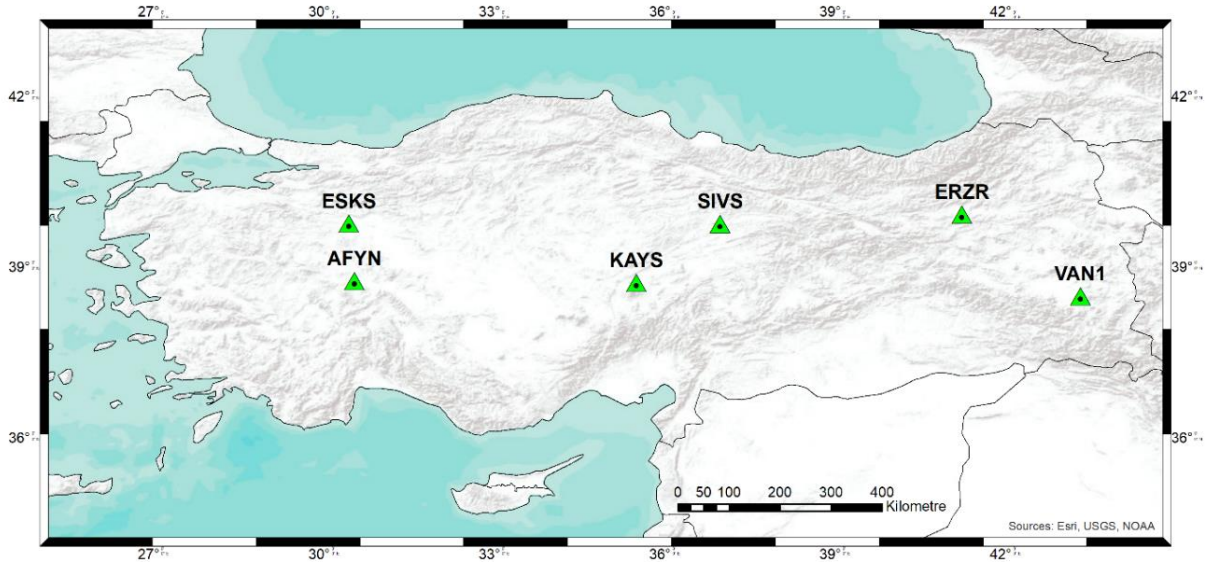
GNSS Analysis and Positioning Software (GAPS), kullanıcılara konum ve diğer parametreleri sağlayan

ücretsiz çevrim içi PPP servisi 2007'de New Brunswick Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Genel olarak, GAPS konumlama için kullanılmış olsa da, kullanıcıya iyonosferik ve atmosferik gecikmeleri, alıcı saat hatası ve multipath (sinyal yansıma) etkisini belirleme olanağı sağlayan GNSS veri işleme yazılımı olarak tasarlanmıştır (Guo 2014). GAPS, uygulama çeşitliliği nedeniyle yalnızca hassas bir nokta konumlandırma aracı değil, aynı zamanda bir GNSS analiz aracıdır. GAPS, kullanıcılara statik ve kinematik modda tek bir GNSS alıcısı kullanarak hassas konum belirleme imkânı sağlamaktadır. IGS ve National Resources Canada (NRCan) gibi kaynaklardan sağlanan hassas yörünge ve saat ürünlerinin kullanımı sayesinde, statik modda santimetre mertebesinde konumlama ve kinematik modda desimetre mertebesinde konumlama elde etmek mümkündür (Gelişkan 2019).

2.2 Çalışma alanı ve yöntem

Bu çalışmada meteorolojik hava olaylarının PPP üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla Batı, Orta ve Doğu Anadolu' da yer alan ikişer adet TUSAGA-Aktif

istasyonu seçilmiştir (Şekil 1). İklim koşullarının bölgeden bölgeye değişmesi ve yükseltinin de bu koşullardaki etkisi nedeniyle seçilen istasyonların Türkiye'nin batısından doğusuna doğru dağılışı göstermesine dikkat edilmiştir. Bu istasyonların karlı, yağmurlu ve güneşli hava durumları altında veri kayıt aralığı 30 saniye olan 30 gün 24 saatlik RINEX verileri tusaga-aktif.gov.tr adresinden temin edilmiştir. Temin edilen verilerin tarih aralıkları 2019 ve 2020 yıllarına ait günlük hava durumları incelenerek belirlenmiştir. Tarihler belirlenirken ardışık yağışlı (yağmur ve kar) ve ardışık güneşli olmasına dikkat edilmiştir. İstasyonların bulunduğu bölgelerde güneşli hava durumu için 1 Ağustos – 30 Ağustos 2019 arası, yağmurlu hava durumu için 1 Nisan – 30 Nisan 2019 arası ve karlı hava durumu için 25 Aralık 2019 – 24 Ocak 2020 tarihleri arası uygun görülmüştür. Ancak, Doğu Anadolu'da güneşli hava durumuna diğerlerinden farklı olarak 17 Temmuz – 17 Ağustos 2019 tarihleri arasının daha uygun olduğu görülmüş ve uygulamada bu aralığa ait veriler kullanılmıştır.



Şekil 1. Verileri kullanılan TUSAGA-Aktif istasyonları

Çevrim içi servislerin karlı, yağmurlu ve güneşli hava koşulları altında sağladığı konum doğruluklarını değerlendirebilmek için PPP servisleri aracılığıyla elde edilen koordinatlar her bir istasyonda gerçek koordinat değerleriyle karşılaştırılmalıdır. Bu amaçla, [https://www.tusaga-](https://www.tusaga-aktif.gov.tr/Web/IstasyonKonumBilgileri.pdf)

[aktif.gov.tr/Web/IstasyonKonumBilgileri.pdf](https://www.tusaga-aktif.gov.tr/Web/IstasyonKonumBilgileri.pdf)

adresinden alınan 2005.00 epoğundaki gerçek koordinatlar;

$$\begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{T_0} \\ Y_{T_0} \\ Z_{T_0} \end{bmatrix} + (T - T_0) \cdot \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

eşitliği kullanılarak ölçü epoğuna kaydırılır. Denklem (1)'de; X_{T_0} , Y_{T_0} , Z_{T_0} TUSAGA-Aktif istasyonlarının 2005.00 epoğundaki güncel koordinat değerlerini, T ölçü epoğunu, T_0 referans epok olan 2005.00 epoğunu, V_X , V_Y , V_Z Tusaga-Aktif istasyonlarının 2005.00 epoğundaki hızlarını göstermektedir. Her bir ölçü gününde internet tabanlı PPP servislerinden elde edilen koordinatlar (X_i, Y_i, Z_i) ile ölçü epoğundaki koordinatlar (X_T, Y_T, Z_T) arasındaki farklar alınarak gerçek hatalar;

$$\varepsilon_{X_i} = X_i - X_T, \quad \varepsilon_{Y_i} = Y_i - Y_T, \quad \varepsilon_{Z_i} = Z_i - Z_T \quad (2)$$

denklemleri ile hesaplanır. Koordinat eksenleri yönündeki karesel ortalama hatalar (KOH);

$$m_{X_i} = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_{X_i} \varepsilon_{X_i}]}{n}}$$

$$m_{Y_i} = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_{Y_i} \varepsilon_{Y_i}]}{n}} \quad (3)$$

$$m_{Z_i} = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_{Z_i} \varepsilon_{Z_i}]}{n}}$$

denklemleri kullanılarak hesaplanır. Denklem (3)'de n , elde edilen ardışık gerçek hata sayısını göstermektedir. İstasyonlara ait konum ortalama hatası;

$$m_P = \sqrt{m_{X_i}^2 + m_{Y_i}^2 + m_{Z_i}^2} \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanır. Normal dağılımlı iki ölçü grubunun varyanslarının istatistiksel olarak uyumlu olup olmadığının test edilmesinde Fisher dağılımı kullanıldığı için, istasyonlara ait konum ortalama hatalarının istatistiksel olarak birbirleri ile karşılaştırılmasında F-testinden yararlanılır. Karşılaştırmada, test büyüklüğü;

$$F_{test} = \frac{m_i^2}{m_j^2} \quad (5)$$

eşitliği ile hesaplanır (Ghilani ve Wolf, 2006). Test büyüklüğünün hesaplanmasında, büyük olan varyans değeri paya yazılmalıdır. Denklem (5)'te, m_i ve m_j ; i ve j ölçü gruplarının varyanslarını

göstermektedir. f_i , f_j ölçü gruplarının serbestlik dereceleri ve α yanılma ihtimali olmak üzere, F_{test} değeri $F_{f_i, f_j, 1-\alpha}$ değeri ile karşılaştırılır. Test değerinin tablo değerinden küçük olduğu durumlarda i ve j ölçülerine ait KOH'un birbirleri ile uyumlu olduğu, aksi durumda ise bu KOH'un birbirleri ile $1-\alpha$ güven aralığında istatistiksel olarak birbirleri ile uyumlu olmadığı sonucuna varılır.

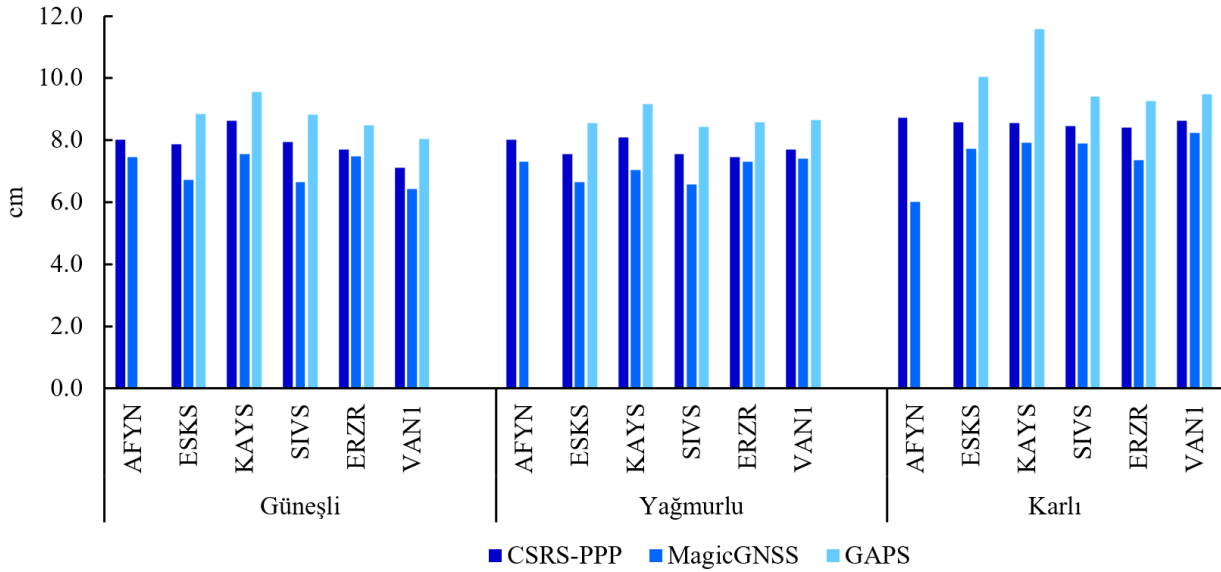
3. Bulgular ve Tartışma

Seçilen istasyonların karlı, yağmurlu ve güneşli hava koşullarındaki 30'ar günlük RINEX verileri internet tabanlı PPP yazılımlarından CSRS-PPP, MagicGNSS ve GAPS kullanılarak işlenmiş ve her güne ait kartezyen koordinatlar elde edilmiştir. TUSAGA-Aktif'in web sitesinden alınan gerçek koordinatlar denklem (1) kullanılarak ölçü epoğuna kaydırılmıştır. Online servislerden elde edilen koordinatlar ve ölçü epoğuna kaydırılan gerçek koordinatlar arasındaki farklar denklem (2) ile hesaplanarak gerçek hatalar elde edilmiş ve gerçek hatalardan yararlanılarak koordinat eksenleri yönündeki KOH denklem (3) ile hesaplanmış ve Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1'de, Batı Anadolu'da CSRS-PPP ve MagicGNSS yazılımları için istasyonlara ait koordinat eksenleri yönündeki KOH incelendiğinde; AFYN istasyonunda CSRS-PPP'de en iyi değerlerin güneşli günlerde elde edildiği, MagicGNSS'de en iyi değerlerin karlı günlerde elde edildiği, ESKS istasyonunda ise her üç yazılımda da en iyi değerlerin güneşli günlerde elde edildiği görülmektedir. Orta Anadolu'da hem KAYS hem de SIVS istasyonunda, Doğu Anadolu'da ise ERZR istasyonunda her üç yazılımda da Z eksenini hariç en iyi KOH güneşli günlerde, Z eksenini yönünde ise yağmurlu günlerde elde edilmiş, Doğu Anadolu'daki VAN1 istasyonunda ise her üç yazılımda da tüm koordinat eksenleri yönünde en iyi değerler güneşli günlerde elde edilmiştir. İnternet tabanlı PPP servislerinin farklı meteorolojik hava koşulları altında verdiği konum ortalama hataları denklem (4) ile hesaplanmış ve Şekil 2'de grafik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 1. Koordinat eksenleri yönündeki KOH (cm)

Bölge	İstasyon	Hava Durumu	CSRS-PPP			MagicGNSS			GAPS		
			m _x	m _y	m _z	m _x	m _y	m _z	m _x	m _y	m _z
Batı Anadolu	AFYN	Güneşli	±2.18	±1.56	±7.55	±3.41	±2.19	±6.24	Sonuç alınamamıştır.		
		Yağmurlu	±2.74	±2.28	±7.17	±2.06	±2.65	±6.48			
		Karlı	±2.49	±1.89	±8.15	±2.06	±2.08	±5.25			
	ESKS	Güneşli	±2.41	±1.12	±7.41	±1.26	±2.77	±5.98	±2.79	±1.60	±8.23
		Yağmurlu	±2.90	±1.63	±6.78	±2.65	±2.83	±5.41	±2.92	±0.86	±8.00
		Karlı	±2.64	±1.56	±8.00	±2.55	±2.65	±6.79	±4.08	±1.80	±9.01
Orta Anadolu	KAYS	Güneşli	±1.51	±1.08	±8.41	±0.49	±2.48	±7.11	±2.03	±1.48	±9.21
		Yağmurlu	±2.21	±1.38	±7.65	±1.77	±2.25	±6.44	±2.19	±1.17	±8.81
		Karlı	±1.90	±1.29	±8.24	±1.98	±2.40	±7.29	±6.21	±1.52	±9.66
	SIVS	Güneşli	±2.25	±1.50	±7.45	±1.15	±2.47	±6.06	±2.78	±1.60	±8.23
		Yağmurlu	±2.95	±2.21	±6.60	±2.49	±2.82	±5.38	±3.02	±1.18	±7.78
		Karlı	±2.52	±1.96	±7.82	±2.58	±2.73	±6.95	±2.72	±2.11	±8.76
Doğu Anadolu	ERZR	Güneşli	±2.17	±1.38	±7.26	±2.15	±2.39	±6.76	±3.12	±0.82	±7.85
		Yağmurlu	±2.75	±1.82	±6.68	±2.62	±2.83	±6.20	±3.84	±1.27	±7.56
		Karlı	±2.32	±1.43	±7.94	±2.28	±2.75	±6.44	±4.27	±1.69	±8.03
	VAN1	Güneşli	±2.35	±1.97	±6.41	±1.83	±2.17	±5.76	±3.21	±1.91	±7.12
		Yağmurlu	±2.76	±2.04	±6.88	±2.98	±2.52	±6.28	±3.63	±2.01	±7.58
		Karlı	±3.58	±2.45	±7.46	±3.37	±2.87	±6.94	±4.05	±2.37	±8.23



Şekil 2. Konum ortalama hataları

Şekil 2, MagicGNSS yazılımının tüm hava koşullarında ve tüm istasyonlarda en iyi konum doğruluğunu sağladığını göstermektedir. Doğruluk açısından, MagicGNSS yazılımını sırasıyla CSRS-PPP ve GAPS yazılımları izlemektedir. Elde edilen konum ortalama hatalarının neredeyse tamamı ± 10 cm'nin altında olmasına rağmen, genel anlamda güneşli günlerden karlı günlere doğru gidildiğinde ortalama

hataların hafif bir artış gösterdiği görülmektedir. Aynı servislerden farklı meteorolojik hava koşullarında elde edilen konum ortalama hatalarının birbiriyle istatistik olarak karşılaştırması yapılmış ve test büyüklükleri denklem (5) kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 2, 3 ve 4'te verilmiştir. Gerçekleştirilen tüm istatistiksel karşılaştırmalarda; $F_{tablo} = F_{30,30,0.95} = 1.841$ olarak alınmıştır.

Çizelge 2. Güneşli ve yağmurlu hava durumu arasında karşılaştırmalar

Hava Durumu	Servis	İstasyon	Yağmurlu						
			AFYN	ESKS	KAYS	SIVS	ERZR	VAN1	
Güneşli	CSRS-PPP	AFYN	1.00	1.13	1.02	1.12	1.16	1.09	
		ESKS		1.09	1.05	1.08	1.12	1.05	
		KAYS			1.14	1.30	1.34	1.26	
		SIVS				1.10	1.13	1.06	
		ERZR					1.07	1.00	
		VAN1						1.17	
	MagicGNSS	AFYN	1.04	1.25	1.12	1.29	1.04	1.01	
		ESKS		1.02	1.10	1.05	1.18	1.21	
		KAYS			1.15	1.32	1.07	1.04	
		SIVS				1.02	1.21	1.24	
		ERZR					1.05	1.02	
		VAN1						1.33	
	GAPS	AFYN			Sonuç alınamamıştır.				
		ESKS		1.07	1.07	1.10	1.06	1.05	
		KAYS			1.09	1.28	1.24	1.22	
		SIVS				1.10	1.06	1.04	
		ERZR					1.02	1.04	
		VAN1						1.16	

Çizelge 2’de yer alan test büyüklükleri incelendiğinde, güneşli ve yağmurlu hava koşullarında elde edilen konum ortalama hataları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı

görülmektedir. Güneşli ve yağmurlu hava koşullarında her üç PPP servisinin de farklı coğrafi bölgelerde istatistiksel anlamda eşit doğrulukta sonuçlar verdiği söylenebilir.

Çizelge 3. Yağmurlu ve karlı hava durumu arasında karşılaştırmalar

Hava Durumu	Servis	İstasyon	Karlı						
			AFYN	ESKS	KAYS	SIVS	ERZR	VAN1	
Yağmurlu	CSRS-PPP	AFYN	1.19	1.14	1.14	1.11	1.10	1.16	
		ESKS		1.29	1.28	1.25	1.24	1.31	
		KAYS			1.12	1.09	1.08	1.14	
		SIVS				1.25	1.23	1.30	
		ERZR					1.27	1.34	
		VAN1						1.26	
	MagicGNSS	AFYN	1.47	1.12	1.18	1.17	1.02	1.27	
		ESKS		1.35	1.42	1.41	1.22	1.53	
		KAYS			1.27	1.26	1.09	1.36	
		SIVS				1.45	1.26	1.57	
		ERZR					1.02	1.27	
		VAN1						1.24	
	GAPS	AFYN			Sonuç alınamamıştır.				
		ESKS		1.38	1.83	1.21	1.17	1.23	
		KAYS			1.60	1.06	1.02	1.07	
		SIVS				1.25	1.21	1.27	
		ERZR					1.16	1.22	
		VAN1						1.20	

Çizelge 3 incelendiğinde, yağmurlu ve karlı hava koşullarında elde edilen konum ortalama hataları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir. Batı, Orta ve Doğu Anadolu

bölgesinde yer alan farklı istasyonlarda her üç PPP servisinin de yağmurlu ve karlı hava koşullarında istatistiksel anlamda eşit doğruluklar sağladığı söylenebilir.

Çizelge 4. Güneşli ve karlı hava durumu arasında karşılaştırmalar

Hava Durumu	Servis	İstasyon	Karlı						
			AFYN	ESKS	KAYS	SIVS	ERZR	VAN1	
Güneşli	CSRS-PPP	AFYN	1.19	1.14	1.14	1.11	1.10	1.16	
		ESKS		1.18	1.18	1.15	1.14	1.20	
		KAYS			1.01	1.04	1.05	1.00	
		SIVS				1.13	1.12	1.18	
		ERZR					1.19	1.26	
		VAN1						1.47	
	MagicGNSS	AFYN	1.53	1.08	1.13	1.13	1.02	1.22	
		ESKS		1.32	1.40	1.39	1.20	1.51	
		KAYS			1.10	1.10	1.05	1.19	
		SIVS				1.41	1.23	1.54	
		ERZR					1.03	1.21	
		VAN1						1.64	
	GAPS	AFYN			Sonuç alınamamıştır.				
		ESKS		1.29	1.72	1.14	1.10	1.15	
		KAYS			1.47	1.03	1.07	1.02	
		SIVS				1.14	1.10	1.15	
		ERZR					1.19	1.25	
		VAN1						1.39	

Çizelge 4, güneşli ve karlı hava koşullarında elde edilen konum ortalama hataları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını göstermektedir. Farklı istasyonlarda her üç PPP servisinden güneşli ve karlı hava koşullarında elde edilen konum doğruluklarının, birbirlerine istatistiksel anlamda

eşit oldukları görülmektedir. Aynı TUSAGA-Aktif istasyonlarında farklı hava koşulları altında, internet tabanlı PPP servislerinin sağladığı doğrulukların birbiriyle istatistik karşılaştırması da yapılmış ve bunlara ait test büyüklükleri Çizelge 5, 6 ve 7’de sunulmuştur.

Çizelge 5. Güneşli ve yağmurlu hava durumunda konum ortalama hatalarının istatistiksel karşılaştırması

Bölge	Batı Anadolu				Orta Anadolu				Doğu Anadolu			
	AFYN		ESKS		KAYS		SIVS		ERZR		VAN1	
İstasyon	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS
CSRS-PPP	1.21	Sonuç alınamamıştır.	1.40	1.18	1.50	1.13	1.46	1.13	1.11	1.24	1.08	1.48
MagicGNSS				1.63		1.47		1.61		1.31		1.81

Çizelge 5’te yer alan test büyüklükleri incelendiğinde; aynı istasyonda güneşli ve yağmurlu hava durumunda, farklı PPP servislerinden elde edilen konum ortalama hataları arasında anlamlı

farkların olmadığı görülmektedir. Bu durum, internet tabanlı PPP servislerinin güneşli ve yağmurlu hava koşulları altında benzer doğruluklar sağladığını göstermektedir.

Çizelge 6. Yağmurlu ve karlı hava durumunda konum ortalama hatalarının istatistiksel karşılaştırması

Bölge	Batı Anadolu				Orta Anadolu				Doğu Anadolu			
	AFYN		ESKS		KAYS		SIVS		ERZR		VAN1	
İstasyon	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS
CSRS-PPP	1.77	Sonuç alınamamıştır.	1.05	1.77	1.04	2.06*	1.09	1.55	1.02	1.54	1.15	1.52
MagicGNSS				2.28*		2.71*		2.06*		1.61		1.64

* Anlamli test büyüklükleri

Çizelge 6, yağmurlu ve karlı hava durumunda Batı Anadolu'daki ESKS istasyonunda MagicGNSS ve GAPS'in sağladığı konum doğrulukları arasında, Orta Anadolu'da ise KAYS istasyonunda CSRS-PPP ve GAPS ile MagicGNSS ve GAPS'in, SIVS istasyonunda da MagicGNSS ve GAPS'in sağladıkları konum

doğrulukları arasında anlamlı farklar olduğunu göstermektedir. Yağmurlu ve karlı hava koşullarının, internet tabanlı PPP servislerinin sağladığı konum doğruluklarını bazı istasyonlarda etkilediği ve bu nedenle aralarında anlamlı farkların oluştuğu söylenebilir.

Çizelge 7. Güneşli ve karlı hava durumunda konum ortalama hatalarının istatistiksel karşılaştırması

Bölge	Batı Anadolu				Orta Anadolu				Doğu Anadolu			
	AFYN		ESKS		KAYS		SIVS		ERZR		VAN1	
İstasyon	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS	Magic GNSS	GAPS
CSRS-PPP	1.78	Sonuç alınamamıştır.	1.04	1.63	1.18	1.81	1.01	1.41	1.09	1.44	1.34	1.78
MagicGNSS				2.24*		2.36*		2.01*		1.53		2.18*

* Anlamli test büyüklükleri

Çizelge 7, güneşli ve karlı hava koşulları altında Batı Anadolu'daki ESKS ve Orta Anadolu'daki KAYS istasyonlarında MagicGNSS ve GAPS'in sağladığı konum doğrulukları arasında, Doğu Anadolu'da ise VAN1 istasyonunda MagicGNSS ve GAPS'in sağladığı konum doğrulukları arasında anlamlı farklar olduğunu göstermektedir. Karlı hava koşullarının, internet tabanlı PPP servislerinin sağladığı konum doğruluklarını Batı, Orta ve Doğu Anadolu'da bazı istasyonlarda etkilediği ve bu nedenle konum ortalama hataları arasında anlamlı farklar oluştuğu görülmüştür.

4. Sonuç ve Öneriler

PPP, tek bir GNSS alıcısı ile hassas uydu yörünge ve saat düzeltmelerini kullanarak, santimetre seviyesinde konum doğruluğu sağlayan mutlak bir konumlama yöntemidir. Bu çalışmada, farklı coğrafi bölgelerde seçilen altı adet TUSAGA-Aktif istasyonuna ait farklı hava koşullarındaki veri kayıt aralığı 30 saniye olan 30 gün 24 saatlik RINEX verileri, internet tabanlı PPP servislerinden CSRS-

PPP, MagicGNSS ve GAPS kullanılarak değerlendirilmiş ve hesaplanan KOH yardımıyla meteorolojik hava olaylarının PPP konum doğruluğuna etkisi araştırılmış ve istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Koordinat eksenleri yönündeki ortalama hataların tamamı ± 10 cm'nin altında kalmış ve genellikle tüm internet tabanlı PPP servislerinde güneşli günlerde en iyi karesel ortalama değerleri elde edilmiştir. Koordinat eksenleri yönündeki KOH'tan yararlanılarak hesaplanan konum ortalama hataları ise, güneşli hava durumundan karlı hava durumuna doğru geçildiğinde hafif bir artış göstermiş ve genellikle ± 10 cm'nin altında kalmıştır. Bu bağlamda, bu çalışmada konum doğrulukları araştırılan internet tabanlı PPP servisleri tüm hava koşullarında çoğu jeodezik uygulama için gerekli doğruluğu sağlamaktadır. Ancak, internet tabanlı PPP servisleri arasında konum doğrulukları açısından bir sıralama yapılacak olursa, her üç hava koşulunda da en iyi sonuçları MagicGNSS sağlamış ve bunu CSRS-PPP ile GAPS izlemiştir.

Aynı PPP servislerinden farklı meteorolojik hava koşullarında ve farklı istasyonlarda elde edilen konum ortalama hatalarının birbirleriyle istatistik olarak yapılan karşılaştırması değerlendirildiğinde, test büyüklükleri arasında anlamlı farklara rastlanmamıştır. Bu durum her üç PPP servisinin de aynı istasyonlardaki farklı hava koşullarında benzer doğrulukları sağladığını göstermektedir. Aynı TUSAGA-Aktif istasyonlarında farklı hava koşulları altında, internet tabanlı PPP servislerinin sağladığı doğrulukların birbiriyle istatistik karşılaştırma sonuçlarına göre her üç PPP servisi de aynı istasyonda hem güneşli hem de yağmurlu havada benzer doğruluklar sağlamıştır. Ancak yağmurlu ve karlı hava ile güneşli ve karlı hava karşılaştırmalarında bu durum değişmiş ve bazı istasyonlarda farklı PPP servislerinin sağladığı konum doğrulukları arasında anlamlı farklar oluşmuştur. Bu nedenle hava koşullarının yağmurlu veya karlı olması, PPP ile konum belirlemede kullanılacak internet tabanlı servisin seçiminde kısmen dikkate alınması gereken bir husus olarak gözükmektedir.

5. Kaynaklar

Alçay, S., 2019, Gerçek zamanlı hassas nokta konumlama (RT-PPP) yönteminin konum belirleme performansının doğruluk ve hassasiyet bakımından incelenmesi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8, 1, 121- 133.

Alçay, S., Yiğit, C. Ö. ve Ceylan, A., 2013, CSRS-PPP, MagicGNSS ve APPS web tabanlı yazılımların statik ppp modüllerinin karşılaştırılması, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5, 1, 1- 12.

Alkan, R. M. ve Kalkan Y., 2011, Hassas noktak Tekniğinin hidrografik ölçmelerde kullanılabilirliği, *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2, 100-106.

Alkan, R. M., İlçi, V. and Ozulu, İ. M., 2016, Precise Point Positioning (PPP) Technique versus Network-RTK GNSS, *on FIG Working Week 2016*, May 2-6, New Zealand.

Alkan, R. M., Uçarlı A. C., Demir F. ve Erol S., 2020, Farklı GNSS uydu sistemlerinin Hassas Nokta Konumlama (PPP) tekniğinin performansına etkisinin incelenmesi, *Geomatik Dergisi*, 6, 3, 247-258.

Anderle, R. J., 1976, Point Positioning Concept Using Precise Ephemeris, *Proc. Int. Geodetic Symp. On Satellite Doppler Positioning*, 12-14 October 1976 (Las Cruces, New Mexico), 47-75.

Atalay, M., 2018. Anlık şiddetli yağışların GPS konum doğruluğuna etkisi üzerine bir çalışma. Yüksek Lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 66.

Aykut, N.O., 2018, The importance of meteorological variation on PPP positioning, *Measurement*, 122, 168-177.

Bahadır, B. ve Nohutçu, M., 2019, Galileo temelli hassas nokta konumlama yönteminin performans değerlendirilmesi: Türkiye örneği, *Harita Dergisi*, 162, 1- 11.

Baybura, T., Tiryakioğlu, İ., Uğur, M.A., Solak, H. İ. and Şafak, Ş., 2019, Examining the Accuracy of Network RTK and Long Base RTK Methods with Repetitive Measurements, *Journal of Sensors*, 2019, 1-12.

Cai, C. and Gao, Y., 2013, GLONASS-Based Precise Point Positioning and Performance Analysis, *Advances in Space Research*, 51, 514-524.

Choy S, Zhang S, Lahaye, F. and Héroux, P., 2013, A Comparison Between GPS-only and Combined GPS+GLONASS Precise Point Positioning, *Journal of Spatial Science*, 58, 2, 169-190.

Dawidowicz, K. and Krzan, G., 2014, Coordinate Estimation Accuracy of Static Precise Point Positioning Using on-line PPP Service, a Case Study, *Acta Geod Geophys*, 49, 37-55.

Ebner, R., 2008. Validation and application of free-online and commercial postprocessing PPP packages. Phd Thesis, Graz University of Technology, Institute of Navigation and Satellite Geodesy, Graz, 108.

Gelişkan, Ş., 2019. Hassas nokta konumlama ile deformasyonların belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 123.

Ghilani, C.D. and Wolf, P.R., 2006, Adjustment computations: spatial data analysis. Wiley, USA, 77-78.

- Guo, Q., 2015, Precision comparison and analysis of four online free ppp services in static positioning and tropospheric delay estimation, *GPS Solutions*, **19**, 537–544.
- İnyurt, S., 2020, Modeling and comparison of two geomagnetic storms. *Advances in Space Research*, **65**, 966–977
- İnyurt, S. ve Ulukavak, M., 2020, Web tabanlı GNSS Yazılımlarının (CSRS-PPP, Trimble-RTX) Performansının Araştırılması . *Geomatik*, **5**, 120-126.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F., 2017, Global Konum Belirleme Sistemleri Teori-Uygulama, Nobel Yayın Dağıtım, 8. Baskı, Ankara, 1-3.
- Kouba, J. and Héroux, P., 2001, GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit Products, *GPS Solutions*, **5**, 12-28.
- Najmuldeen, A.G., 2017. Web Tabanlı GNSS Değerlendirme Servislerinde Hassas Nokta Konumlama Tekniğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 98.
- Pan, L., Cai, C., Santerre, R. and Zhu, J., 2014, Combined GPS/GLONASS Precise Point Positioning with Fixed GPS Ambiguities, *Sensors*, **14**, 17530-17547.
- Saraçoğlu, A., 2016, GIPSY/OASIS II GPS yazılımının doğruluğunun mevsimsel etkiler dikkate alınarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 112.
- Selbesoğlu, M. O. ve Gümüş, K, 2016, Hassas Mutlak Konumlama Tekniği (PPP) ile Ağ RTK konumlama tekniğinden elde edilen yükseklik bileşeninin doğruluk karşılaştırılması, *8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 19-21 Ekim 2016, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Xu, C., Wang, J., Gao, J., Wang, J. and Hu, H., 2011, Precise Point Positioning and its application in mining deformation monitoring, *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*, **21**, 499-505.
- Yiğit, C. Ö., Çalışkan, E. ve Kızılarlan, M., 2016, GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin konum belirleme performanslarının ölçü süresine bağlı olarak değerlendirilmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **8**, 22-39.
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins M. M., and Webb, F. H., 1997, Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *Journal of Geophysical Research*, **102**, 5005.

Pamuk-Sentetik Bileşenli Lif Katkısı ve Genleştirme Ajanı Miktarlarının Otoklavsız Gazbetonun Teknik Özelliklerine Etkileri

Şeyma Pınar ÖZCAN ¹, Lütfullah GÜNDÜZ ²

¹ İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye.

² İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye.

Sorumlu yazar e-posta: seymapinarozcan@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1395-196X>

Yazar e-posta: lutfullah.gunduz@ikc.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2487-467X>

Geliş Tarihi: 06.05.2021

Kabul Tarihi: 28.12.2021

Öz

Gazbeton ürünlerde otoklavsız üretimin sağlanmasıyla otoklav sistemlerde kullanılan ısı ve basınç üretim enerjisinden kaçınılabilmektedir. Bu makalede, endüstriyel atık lif katkı materyalinin 5 ayrı kullanım oranıyla hazırlanan otoklavsız gazbeton örneklerde genleştirici ajanın ağırlıkça %0,08, %0,12 ve %0,15 oranlarında ihtiva durumunun matris yapı üzerindeki etkileri detaylı incelenmiştir. Genleştirilerek üretilen ön kürlenmeli otoklavsız gazbeton örneklerinde hava sürükleyici ajan olarak %99.9 saflık derecesine sahip, nano boyutta alüminyum tozu tercih edilmiştir. Endüstriyel atık lif niteliğinde değerlendirilen kot kumaş açma elyafı %70 pamuk, %30 sentetik içermektedir. Bu atık lif malzeme maksimum 2 mm olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Bu çalışma kapsamında, özellikle harç içerisinde kullanılan ağırlıkça Al ihtiva oranının lif katkılı ya da lif katkısız otoklavsız ön kürlenmeli gazbeton örneklerinde yarattığı etkiler incelenmektedir. Deney ve gözlemler ışığında lif kullanım durumu ve miktarlarına uygun olabilecek ağırlıkça Al ihtiva oranları mikroskobik yapısal analiz, birim hacim kütle, genleşme oranı, basınç dayanımı, kütlece su emme, görünür porozite, sismik hız, akustik empedans ve ısı iletkenlik özellikleri ile endüstriyel bakış açısıyla yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler

Alüminyum;
Genleştirme Ajanı;
Endüstriyel Atık Lif;
Otoklavsız Gazbeton;
Kâgir Blok; Genleşme

The Effects of Cotton-Synthetic Component Fiber Additive and Expansion Agent Amounts on the Technical Properties of Non-Autoclaved Aerated Concrete

Abstract

By ensuring non-autoclaved production in aerated concrete products, heat and pressure generation energy used in autoclave systems could be avoided. In this article, the effects of 0.08%, 0.12% and 0.15% by weight of the expansion agent on the matrix structure in non-autoclaved aerated concrete samples prepared with 5 different usage rates of industrial waste fiber additive material were examined in detail. Aluminum powder of nano size with 99.9% purity was preferred as air-entraining agent in pre-cured non-autoclaved aerated concrete samples produced by expanding. Denim fabric opening fiber, which is considered as industrial waste fiber, contains 70% cotton and 30% synthetic. This waste fiber material has been sized to a maximum of 2 mm. In this study, especially the effects of Al content by weight used in mortar on pre-cured aerated concrete samples with or without fiber added, are investigated. In the light of experiments and observations, Al content ratios that can be suitable for fiber usage conditions and quantities were interpreted from an industrial point of view with microscopic structural analysis, unit volume mass, expansion rate, compressive strength, water absorption by mass, apparent porosity, seismic velocity, acoustic impedance and thermal conductivity properties.

Keywords

Aluminum; Expansion Agent; Industrial Waste Fiber; Non-Autoclaved Aerated Concrete; Masonry Block; Expansion

1. Giriş

Hafif betonlar, normal betonlara kıyasla daha düşük birim ağırlığa ve dayanıma sahip, ısı ve ses yalıtım değerleri yüksek, kolay çivilenebilme ve kolay kesilebilme gibi işlenebilme özellikleri olan, ateşe karşı daha dayanıklı bir yapı malzemesidir (Spratt 1975). Hafif beton gözenekleri, harç bileşenleri harmanlandığında, karıştırıldığında ve döküldüğünde alüminyum (Al) ile kireç arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyon sonucu hidrojen gazı açığa çıkmasıyla meydana gelmektedir ve bu kabarcıklar beton içerisinde yayılım göstermektedir (Yuan *et al.* 2017, Wittman 1983). Hava sürüklenmesiyle elde edilen betonlar, köpürme ajanının harca karıştırılması ile oluşan keyfi hava boşlukları sayesinde 400-1800 kg/m³ aralığında değişen birim hacim kütle değerlerine sahip hafif beton çeşididir. Gazbeton kâgir bloklar, yüksek akış kabiliyeti, minimum çimento ve agrega kullanımı nedeniyle rağbet gören bir malzeme olup düşük ısı iletkenlik sağlamaktadır (Suriyaprakash and Hameed 2018). Gazbetonun matris yapısında oluşan gözenekler aynı zamanda sismik hızı ve akustik empedansı da etkilemektedir, bu da malzemeyi iyi bir ses yalıtkanı yapmaktadır (Laukaitis and Fiks, 2006). Laurent (1995)'in hafif betonlar üzerine yaptığı bir çalışmada malzemenin ısı iletkenlik değerinin malzemenin birim hacim kütlelerine, içeriğine ve malzeme içeriğine bağlı değişkenlik gösterdiğini, gözeneklerin inceliğinin artışının ısı yalıtımını olumlu etkilediği tecrübe edilmiştir.

Hafif betonlar, kullanım amacına göre üç gruba ayrılmaktadır: i) Yapısal hafif beton, 28 gün kür süresi sonunda 17 MPa basınç dayanım değerine eşit veya daha fazla silindirik basınç dayanımına sahip ve yaklaşık yoğunluk değeri aralığı 1400-1800 kg/m³ olan betondur. ii) Duvar bloğu (Yapısal / Yalıtım hafif beton), 7-14 MPa aralığında basınç dayanımına ve 500 ila 800 kg/m³ yoğunluk aralığına sahip hafif betondur. iii) İzolasyon betonu, 0,7-7 MPa basınç dayanım aralığında ve 800 kg/m³'den daha düşük yoğunluğa ve düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olan beton türüdür (Neville and Brooks 2010, Slaby *et al.* 2008).

Hafif beton kâgir bloklar, gözenek oluşturma yöntemine göre üç sınıf altında incelenebilmektedir: i) Hava sürüklenme yöntemi (Gazbeton), ii) Köpürtme yöntemi (Köpüklü beton), iii) Kombine yöntem. Gazbetonların, otoklavlanmış ve otoklavlanmamış olarak iki kürlenme yöntemiyle üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Kürlenme yöntemi ve kür süresine bağlı olarak gazbetonların basınç dayanımı, su emme eğilimleri, kuruma esnasında oluşan büzülme davranışı vb. fiziksel ve mekanik özelliklerinde etkilenmeler meydana gelmektedir. Hazırlanan gazbeton harcı kalıplara dökülüp sert form kazandırıldıktan sonra kalıptan çıkartılır ve talep edilen boyutlarda bloklar veya levhalar hâlinde dilimlenir (Tanacan *et al.* 2009).

Alüminyum, gazbeton üretiminde dünya çapında hava sürükleyici ajan olarak tercih edilmektedir ve bunun için en iyi materyal olduğu kanıtlanmıştır. Alüminyum, harç karışımına genellikle kuru çimento ağırlığının yaklaşık %0,2-%0,5 oranında eklenmektedir (Boggelen 2011).

İnşaat sektörünün büyümesi, yüksek enerji tüketimini de beraberinde getirmiştir. Son zamanlarda, enerji ve hammadde sarfiyatının önüne geçmek amacıyla detaylı çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle yapıların taşıyıcı olmayan birimlerinde sıkça tercih edilen hafif beton blok türevi ürünler ile yalnızca üretim aşamasında değil, yerinde kullanım sürecinde de enerji tasarrufu ve verimliliği sağlanabilmektedir. Otoklavlanmamış gazbeton, birçok ülkede termal konforun artırılması amacıyla dış bina zarflarında sıkça tercih edilmektedir. Bina ısınmasında tüketilecek enerjiyi, uygun duvar kesit bileşenleri ve yeterli uygulama kalınlığı tercihleriyle minimize etmek mümkündür. Buna ilave olarak, gazbeton üretim aşamalarından birini oluşturan otoklav kürlenmesi işlemi ortadan kaldırıldığında yüksek sıcaklık ve basınç için harcanan enerji kullanılmamış olmaktadır. Otoklavlanmamış gazbeton imalatı otoklavlanmış gazbetona kıyasla yüksek basınca gereksinim olmadığı için daha kolay ve aynı zamanda üretim maliyeti de daha düşüktür (Xia *et al.* 2013). Bu bağlamda, enerji verimliliği açısından büyük önem taşıyan otoklavlanmamış gazbeton kâgir bloklar, yapılarının oldukça hafif olması ile de ön plana çıkmaktadır. Hafif yapı

elemanı kâgir bloklar, deprensellik açısından bina ölü yük dengesinin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Günümüzde yüksek yapı inşaatlarının artması, ölü yük azaltma ihtiyacını doğurmaktadır (Chen *et al.* 2017). Birim hacim ağırlık değerleri düşük olan otoklavsız gazbetonlar, üretimde matris yapı bozunumlarının ve çatlaklarının engellenmesi amacıyla lif katkıları olarak elde edilebilmektedirler. Yeni nesil olarak nitelendirilebilecek bu kâgir bloklarda endüstriyel atığın katkı materyali görevi görmesi, blok elemanın fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmenin yanında atık malzeme geri dönüşümü ile çevre ekolojisine fayda sağlamaktadır (Sanytsky *et al.* 2010).

Çimento esaslı malzemelerin güçlendirilmesinde polipropilen liflerinin kullanımının son yıllarda oldukça önem kazandığı görülmektedir (Mobasher and Li 1996, Perez-Pena and Mobasher 1994, Qian and Stroeven 2000). Matris yapısında boşluk oluşturularak elde edilen kâgir blokların üretiminde harç içerisine elyaf takviyesi yapılmasıyla malzeme sisteminde sismik performans iyileştirmesi sağlanabilmektedir (Kaushik *et al.* 2007). Liflerin eklenmesiyle hafif blokların sünek davranışı artırılarak çekme, kesme ve basma yüklemeleri karşısında uygun direnç gösterebilmektedir (Siram 2012).

Gazbeton üretimlerinde harç karışımlarına farklı orijin ve farklı boyutlarda lif katkı malzemeleri matris yapıda donatı materyali göreviyle kullanılabilir. Lif malzemeler, doğal ve yapay orijinli olabilmektedir. Uzun zamandır süre gelmekte olan gazbeton içeriğinde lif kullanımı çalışmaları sonucunda malzemenin iyi yönde etkilendiği birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Mobasher and Li 1996, Perez-Pena and Mobasher 1994, Bonakdar *et al.* 2013, Rasheed and Prakash 2017, Vijayalakshmi and Ramanagopal 2020a, Vijayalakshmi and Ramanagopal 2020b, Rasheed and Prakash 2015, Sukmana *et al.* 2019). Doğal ve yapay orijinli lifler yapıları gereği otoklavlama işlemi esnasında yüksek sıcaklık ve basınç etkisi altında bozdukları için otoklavlanmış gazbeton üretimlerinde lif kullanımı istenilen sonucu verememektedir. Liflerde meydana gelebilecek olası

zararı önlemek amacıyla otoklavlama işlemi lifli gazbeton üretiminden çıkarılmakta ve kürlenme oda sıcaklığında gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, lif takviyeli ve lif takviyesiz üretilen gazbeton kâgir bloklar farklı niteliklerde değerlendirilmektedir. Otoklavlama işleminin ortadan kaldırılması, otoklavlanmış gazbetona kıyasla daha düşük mukavemet değerlerine ve daha düşük homojen dağılıma sahip ürünler elde edilmesine neden olmaktadır. Kısa polipropilen liflerin harç karışımına ilave edilmesi ile plastik fazda ya da kururken elastik fazda büzülme çatlaklarında azalma görüldüğü ve mekanik özelliklerde büyük ölçüde iyileşme meydana geldiği birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Bakhshi and Mobasher 2011, Ronald and Carol 1998, Bonakdar *et al.* 2013). Bu nedenle, kısa liflerin ilave edildiği otoklavlanmamış gazbetonlarda, meydana gelebilecek çatlakların köprülenmesi iyileştirilmektedir.

Bu çalışmada, %70 pamuk ve %30 sentetik içeren endüstriyel atık lif kategorisinde değerlendirilebilecek kot kumaş açma elyafı beş ayrı oranda matris yapı donatı materyali olarak değerlendirilmiştir. Atık lifin otoklavsız ön kürlenmeli, hava sürüklenme yöntemiyle elde edilen gazbeton kâgir blok elemanların üretiminde değerlendirilmesi tartışılmış ve belirlenen lif oranlarında hazırlanan örneklerde Al ihtivasının üç ayrı oran bazında kullanım etkisi ve uygunluğu incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ışığında elde edilen bulgulara dayanılarak, otoklavsız gazbeton kâgir blok üretimlerinde endüstriyel atık lif ve alüminyum kullanım miktarlarının hazırlanan örneklerde meydana getirdiği teknik etkiler detaylı olarak analiz edilmektedir. Yeni nesil olarak değerlendirilen bu kâgir blok eleman örneklerinin birim hacim kütle, basınç dayanımı, genleşme oranları, kütlece su emme, görünür porozite, sismik hız, akustik empedans ve ısısal konfor özellikleri fiziksel ve mekanik açıdan endüstriyel yaklaşımlarıyla tartışılmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Malzemeler

Çalışma kapsamında hazırlanan otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok numune örneklerinin

üretiminde kullanılan malzemeler aşağıda kısaca tanıtılmıştır:

2.1.1. Çimento

Harç karışımları hazırlanırken matris yapıda bağlayıcı işlevinin yerine getirilmesi için EN 197-1 CEM 1 42.5R (42.5 N/mm²) standardına uygun Portland çimentosu kullanılmıştır.

2.1.2. Kum

Harç içeriğinde ana agrega bileşeni olarak tercih edilen malzeme 500 µm elek altı boyutlandırılmış standart kumdur.

2.1.3. Sönmemiş Kireç (CaO)

Sönmemiş kireç, kireç taşının kalsinasyonu ile meydana gelmektedir. Hazırlanan tüm harç karışım kombinasyonlarında sönmemiş kireç 250 mikron boyut altına indirgenerek sabit miktarda kullanılmıştır. Bağlayıcı özellik gösterebilmesi için su ile birleştirilerek hidrate edilmesi gerekmektedir. Sönmemiş kirecin su ile buluşmasında ekzotermik reaksiyon meydana gelmesi ile açığa çıkardığı ısı sayesinde CaO, harçta kimyasal reaksiyonların oluşabilmesinde etkin rol oynamaktadır. Açığa çıkan ısı, özellikle genleştirici ajanı da aktive etmektedir. Genleştirici ajanla etkileşime girmesi sonucunda hidrojen çıkışı meydana gelmekte ve gaz boşlukları oluşmaktadır.

2.1.4. Hava Sürükleyici Ajan (Alüminyum Tozu)

Otoklavlanmamış gazbeton blok numunelerinin üretiminde genleştirici ajan mahiyetinde nano boyutta, %99.9 saflık derecesine sahip alüminyum tozu tercih edilmiştir. Harç matrisindeki ısı sayesinde alüminyum tozları reaksiyona girerek etkin hâle gelmektedir. Bu nedenle alüminyum tozları hidrojen gazı açığa çıkararak matris yapıya gözenekler kazandırmaktadır. Harç içerisinde üç farklı oranda kullanımıyla elde edilen nihai numuneler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2.1.5. Kimyasal Katkılar

Hazırlanan numune harçlarının priz süresini kısaltmak ve matris yapıda oluşturulan gözenekleri artırmak amacıyla harç kombinasyonlarında kalsiyum klorür (CaCl₂) kullanılmıştır. CaCl₂, kalsiyum ve klorun tuz formu olup, beyaz renkte bir

katıdır. Su ile temasında ısı açığa çıkararak bulunduğu yeri ısıtabilme özelliği vardır.

2.1.6. Lifler

Bu çalışma kapsamında kullanılan endüstriyel atık lif ticari piyasadan tedarik edilmiştir. Atık lif boyutlandırılarak kullanıma hazır hâle getirilmiştir. Kot kumaş açma işleminden geçirilerek elde edilen bu elyaf %70 oranında pamuk ihtiva ederken %30 kadar da sentetik içermektedir ve maksimum uzunluğu 2 mm'dir (Şekil 1). Kot kumaş açma işleminden geçirilerek geri dönüştürülen bu lif, doğal kumaş elyafları arasında değerlendirilebilecek niteliktedir. Geri dönüştürülmüş tekstil elyaflarından elde edildiği için çevre dostu malzeme olarak da tanımlanabilir. Bu çalışma kapsamında tercih edilen kot elyafı kompozit yapı malzeme üretimlerinde kullanılabilir. Lif, matris yapıda doğal donatı görevi görürken aynı zamanda harcın işlenebilirliğini artırmak ve harç priz alırken oluşabilecek muhtemel büzülme ve çatlamayı en aza indirmek amacıyla da kullanılmaktadır.



Şekil 1. Endüstriyel atık lif malzemenin genel görünümü.

2.1.7. Su

Test örneklerinin hazırlanma aşamasında kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesini sağlamak amacıyla karma suyu olarak çeşme suyu kullanılmıştır. Harç ısisını artırarak kimyasal reaksiyonların daha kısa sürede gerçekleşebilmesi için su 80°C'ye kadar ısıtılarak tüm karışımlarda sabit sıcaklık ve sabit miktarda ilave edilmiştir.

2.2. Karışım Tasarımı ve Testler

Deneysel incelemelerde, üç farklı alüminyum oranında (kuru malzeme ağırlığının %0,08, %0,12, %0,15'i olmak üzere üç oranda) üretilen

otoklavlanmamış gazbeton numuneleri üzerinde lif kullanım uygunluğu ve teknik özellikler bazında uygun kullanım miktarını yorumlayabilmek amacıyla çeşitli ağırlıkça yüzde karışım oranları tasarlanmıştır. Atık lifin yaratmış olacağı etkileri daha net görebilmek açısından belirlenen üç alüminyum kullanımı için de lif kullanılmaksızın kontrol numune karışımları tasarlanmıştır. Harç kombinasyonlarının tasarımı Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1'den de görüleceği üzere MK1, MK2 ve MK3 kodlu karışımlar, otoklavlanmamış gazbeton örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin kıyaslanabilmesi amacıyla, endüstriyel atık lifler kullanılmaksızın formülize edilmiştir. Bu kontrol numuneleri arasındaki tasarım farkı alüminyum kullanım oranına bağlıdır. MK1 numuneleri %0,08 Al, MK2 numuneleri %0,12 Al ve MK3 numuneleri ise %0,15 Al ihtiva edecek şekilde tasarlanmıştır. Deney numunelerinin hazırlanmasında MA1, MA2 ve MA3

kodlu karışımlarda ağırlıkça %0,25 lif; MB1, MB2 ve MB3 kodlu numunelerde %0,75 lif; MC1, MC2 ve MC3 numunelerinde %1,25 lif ve MD1, MD2, MD3 karışımlarında %2 lif kullanılmıştır. MA1, MB1, MC1 ve MD1 karışımlarında alüminyum kullanım oranları ağırlıkça %0,08; MA2, MB2, MC2 ve MD2 numunelerinde yine ağırlıkça %0,12; MA3, MB3, MC3 ve MD3 %0,15 olarak uygulanmıştır. Bu nedenle her lif kullanım oranı için üç ayrı alüminyum kullanım oranı altında numunelerde meydana gelen teknik farklılıklar yorumlanabilmektedir. Karışım kombinasyonlarındaki lif ve alüminyum kullanım oranları, ana agrega bileşeni kum oranından yer değiştirmeli olarak tasarlanmıştır. Hazırlanan tüm otoklavsız gazbeton numunelerinde ağırlıkça çimento oranı %34, CaO oranı %9, CaCl₂ oranı da %1 olacak şekilde sabit tutularak harç karışımlarına dâhil edilmiştir. İdeal karışım kıvamı ve form çalışmaları ışığında tüm harç kombinasyonlarında Su/Katı oranı 0,65 olarak tercih edilmiştir.

Çizelge 1. Test örneklerinin hazırlanmasında kullanılan karışım oranları (Ağırlıkça).

Numune	Çimento (%)	Lif (%)	Kum (%)	CaO (%)	AL (%)	CaCl ₂ (%)	Su/Katı
MK1	34	0	55,92	9	0,08	1	0,65
MK2	34	0	55,88	9	0,12	1	0,65
MK3	34	0	55,85	9	0,15	1	0,65
MA1	34	0,25	55,67	9	0,08	1	0,65
MA2	34	0,25	55,63	9	0,12	1	0,65
MA3	34	0,25	55,60	9	0,15	1	0,65
MB1	34	0,75	55,17	9	0,08	1	0,65
MB2	34	0,75	55,13	9	0,12	1	0,65
MB3	34	0,75	55,10	9	0,15	1	0,65
MC1	34	1,25	54,67	9	0,08	1	0,65
MC2	34	1,25	54,63	9	0,12	1	0,65
MC3	34	1,25	54,60	9	0,15	1	0,65
MD1	34	2	53,92	9	0,08	1	0,65
MD2	34	2	53,88	9	0,12	1	0,65
MD3	34	2	53,85	9	0,15	1	0,65

Numune harcı hazırlama işleminin ilk adımı olarak ana agrega bileşeni kum, çimento, lif ve sönmemiş kireç karıştırılmıştır. Sonrasında, 80°C sabit sıcaklıkta hazır bekletilen su, kimyasal katkı CaCl₂ ve genleştirici ajan Al ile eş zamanlı olarak harca eklenerek 3 dakika süreyle karma işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen yaş harç formu önceden yağlanan numune kalıplarına zaman kaybı olmaksızın yerleştirilmiş ve genleşme miktarını

saptayabilmek amacıyla kalıba yerleştirilen her bir harç yüksekliği ölçülerek kaydedilmiştir. Kalıplanan yaş harçlar, sıcaklığı önceden 60°C olarak ayarlanmış bir etüv ortamında minimum 6 saat süreyle ön kürlenme işlemine tabi tutulmuştur. Ön kürlenme işlemi tamamlayan numuneler etüvden çıkarılarak 24 saat süreyle minimum +18 °C sıcaklıkta kapalı bir ortamda kürlenme işlemine devam edilmiştir. Yüksek sıcaklık ve basınç altında otoklav kürlenmesine maruz

kalmadan üretilen test örnekleri kalıplardan çıkartıldıktan sonra normal oda koşullarında nihai küremeye bırakılmıştır. Kalıplardan çıkarılan numunelerin dijital bir kumpas ile yükseklikleri ölçülmüştür. Bu nedenle genleşme yüzdeleri hesaplanarak elde edilmiştir. 1, 3, 7, 14, 21 ve 28. günlerde test örneklerindeki kuruma süreçleri, numune tartımlarından elde edilen birim ağırlıklardaki değişimler yardımıyla incelenmiştir. 28 gün kür süresi tamamlanan numunelerin birim hacim kütle, basınç dayanımı, gözeneklilik, su emme oranı ve ısı iletkenlik değerleri analiz edilmiştir. Test örneklerinin birim hacim ağırlık analizleri TS EN 1015-10 "Kâgir harcı - Deney metotları - Bölüm 10: Sertleşmiş harcın boşluklu kuru birim hacim kütlelerinin tayini" standardına uygun olarak tespit edilmiştir. Geriye kalan tüm fiziksel ve mekanik analizler TS EN 771-4 "Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 4: Gazbeton kâgir birimler" standardı ve ilgili standartların öngördüğü prensiplere göre uyarlanarak incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında toplamda hazırlanan endüstriyel atık lif katkılı otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok numuneleri, her bir karışım formülasyonu için 15'er adet 100x100x120 mm boyutlu dikdörtgen şekilli test örneklerinden ve yine her bir karışım kombinasyonu için 3'er adet levha şekilli örneklerden oluşmaktadır.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında hazırlanan numunelerden elde edilen fiziksel ve mekanik deney verileri ortalama değerler olarak Çizelge 2'de gösterilmiştir.

3.1. Mikroskopik Yapısal Analiz

Mikroskopik analiz, malzemelerin karakterizasyonu, mikro yapısı ve kalitesinin incelenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Hafif betonlarda mikroskopik yapısal analiz sayesinde karışım homojenlik ve gözeneklilik durumu, hava miktarı tayini, basınç dayanımı, ısı iletkenlik ve ses yalıtımı, donatı lif materyali dağılımının yorumlanması diğer test deneyleri gerçekleştirilmeden ön değerlendirme yoluyla yapılabilmektedir. Bu gibi avantajları sayesinde geliştirilmek istenen bir ürün, mikroskopik analizinden yapılacak çıkarımlarla daha kısa sürede reel sonuçlara yakınsak değerlerde

üretilebilmektedir. Bu AR-GE çalışması kapsamında 28 gün küreme süresini tamamlamış ve tamamen sertleşmiş tüm otoklavsız lifli gazbeton numunelerinin mikroskopik yapısal analizleri yapılmıştır. Görsellerde kıyaslama kolaylığı amacıyla 1 adet lifsiz %0,12 Al ihtiva eden kontrol numunesi ve 3 adet farklı Al oranlarında ağırlıkça %1,25 lif içeren numuneler sırasıyla Şekil 2-Şekil 6'da verilmiştir.



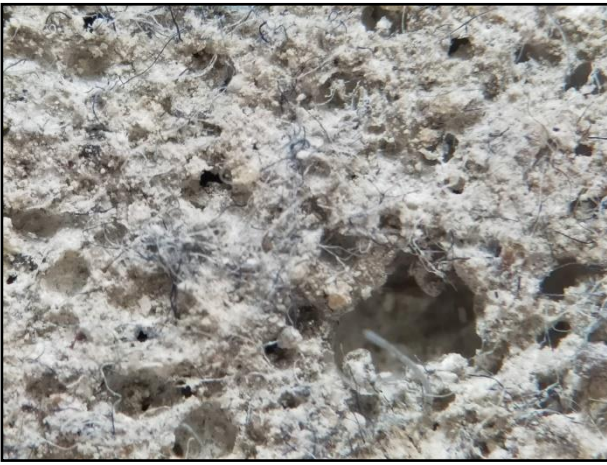
Şekil 2. MK2 örneğine ait genel yapısal görünümü.



Şekil 3. MA2 örneğine ait genel yapısal görünümü.



Şekil 4. MC1 örneğine ait genel yapısal görünümü.



Şekil 5. MC2 örneğine ait genel yapısal görünümü.



Şekil 6. MC3 örneğine ait genel yapısal görünümü.

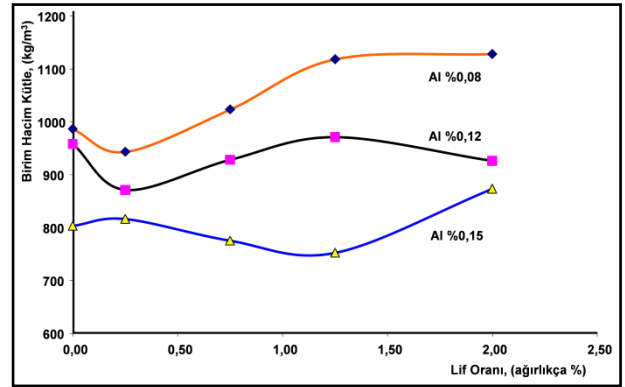
Şekil 2 – Şekil 6 görsellerinde görüleceği üzere, matris yapıda oluşan gözenek oranı, boyutları ve dağılımlarında Al kullanım yüzdesine bağlı olarak karışım kombinasyonlarında meydana gelen kimyasal reaksiyonların etkisinden sözü edilebilmektedir. Ayrıca atık lif katkısının matris yapıda lif miktarına bağlı olarak saçınım düzeni de görülebilmektedir. Özellikle, ağırlıkça % Al kullanım oranının artırılmasıyla test örneklerinin matris yapısında gözenek boyutlarının büyüdüğü gözlenmiştir. Bu durum neticesinde Al kullanım miktarıyla genişleme oranı arasında doğrusal bir ilişki kurulabileceğini sembolize etmektedir. Matris yapıda gözeneklilik artışının dayanımı olumsuz yönde etkilediği, daha zayıf dayanımlı matris yapılar oluşturduğu bilinmektedir. Böylelikle Al miktarındaki artışın, matris yapının dayanım ve diğer mekanik özellikleri ile ters orantılı olarak eğilim gösterdiği tecrübe edinilmektedir. Lif kullanım miktarının artırılmasına bağlı olarak matris yapıdaki lifler arasında topaklanma, ayrışmama, dağılımlarda da düzensizliklerin olabildiği gözlenmiştir.

Çizelge 2. Karışımlara ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler.

Numune	Birim Hacim Kütle (kg/m ³)	Genleşme Oranı (%)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kütlece Su Emme (%)	Görünür Gözeneklilik (%)	Sismik Hız (v, m/s)	Akustik Empedans (Z, g/cm ² s)	Isıl İletkenlik (λ, W/mK)
MK1	986	10,0	0,53	39,86	48,40	632	62230	0,238
MK2	958	31,7	0,75	44,51	47,80	627	60108	0,247
MK3	803	41,7	0,79	50,46	49,69	670	53886	0,213
MA1	943	7,9	0,94	39,49	45,54	467	43759	0,233
MA2	871	18,3	0,74	40,31	48,06	656	57315	0,218
MA3	816	33,3	0,80	51,32	51,38	610	49554	0,219
MB1	1023	3,3	1,38	42,98	53,09	530	54130	0,264
MB2	928	9,5	1,43	40,84	48,32	382	35450	0,241
MB3	775	39,7	0,79	49,33	50,59	827	64115	0,194
MC1	1118	0,1	2,84	39,83	53,01	854	95869	0,294
MC2	971	7,2	3,00	42,04	46,99	961	93342	0,240
MC3	752	30,2	1,32	41,50	45,84	932	70089	0,188
MD1	1128	0,1	1,67	40,08	48,34	575	65013	0,303
MD2	926	6,7	2,34	41,42	44,67	770	71382	0,226
MD3	873	20,6	1,60	46,51	53,83	995	86724	0,228

3.2. Kuru Birim Hacim Kütle

Normal betona kıyasla düşük değerlerde oluşması beklenen birim hacim kütle değeri, otoklavsız gazbeton kâgir blok elemanlarının irdelenmesinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Birim hacim kütlede düşük değerlerde olması bina ölü yükünü doğrudan olumlu etkilemektedir. Yoğunluk değerinde etkin rol oynayan matris yapı içeriğindeki gözenekler dolayısıyla ısıl iletkenlik ve basınç dayanım performanslarında kayda değer biçimde bir düşüş ile karşılaşılabilmektedir. Bu sebepten hafif betonlar sıklıkla taşıyıcı olmayan, özellikle bölme duvar birimlerinde tercih edilmektedir. Bu ArGe çalışması kapsamında hazırlanan tüm test örneklerinin kuru birim hacim kütle değerlerindeki değişim grafiksel olarak Şekil 7’de verilmiştir.



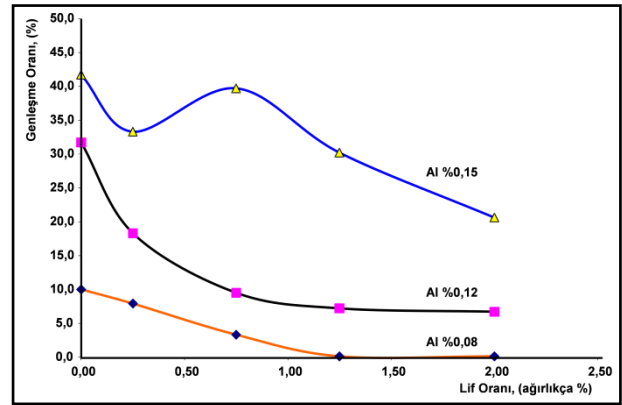
Şekil 7. Otoklavsız gazbeton numunelerinin birim hacim kütle değerleri değişimi.

Bu çalışma kapsamında ağırlıkça farklı kullanım oranlarında hazırlanan test örnekleri kıyaslandığında her ağırlıkça yüzde lif oranı için Al kullanımının %0,08 olduğu numunelerin en yüksek birim hacim kütleyle; Al kullanım oranının ağırlıkça %0,15 olarak tercih edildiği numunelerin ise en düşük birim hacim kütleyle sahip olduğu belirlenmiştir. Grafiksel gösterimden de anlaşılacağı üzere, ağırlıkça Al kullanım oranı artırıldıkça

yoğunluk düşüşü ile karşılaşılmaktadır. Bunun sebebinin, matris yapıda gerçekleşen kimyasal reaksiyonlara Al katkısı olduğu söylenebilmektedir. Kimyasal tepkimeler neticesinde test örneklerinin hidrojen gazı açığa çıkmasıyla daha gözenekli bir hâl alarak hacimce kütlesi düşmektedir. Lif kullanılmaksızın üretilen test numuneleri arasında %0,08 Al içeren örneklerin ortalama kuru birim hacim kütle değeri 986 kg/m^3 iken, %0,12 Al içeren numunelerde %0,04 Al miktarı artışıyla %2,84'lük bir hafifleme göstererek 958 kg/m^3 ; ilaveten %0,03'lük Al miktar artışıyla %16,2 daha hafifleyerek %0,15 Al kullanım oranı sonucunda 803 kg/m^3 olduğu görülmüştür. %0,25 lif ilavesi yapılan numuneler arasında Al oranı %0,08 olanların kuru birim hacim kütlesi 943 kg/m^3 'tür. Ağırlıkça Al kullanım oranının %0,12'ye çıkartılmasıyla %7,6'luk hafifleme görülürken, Al miktarının %0,15'e çıkartılmasıyla da %13,5'lük hafifleme olduğu saptanmıştır. Lif oranının %0,75 olmasıyla %0,08 Al ve %0,12 Al içerikli numunelerin birim hacim kütlelerinde artış gözlenmiştir. %0,08 Al içeren %0,75 lifli test örneklerinin birim hacim kütle değeri 1023 kg/m^3 bulunmuştur. Bu değer, Al %0,12'ye yükseltildiğinde %9,3 düşüş göstermiş; Al %0,15'e yükseltildiğinde ise %24,2 hafiflemiştir. Lif miktarı her Al değeri için artırılarak ağırlıkça %1,25 oranına getirildiğinde, karışımda %0,08 Al miktarı bulunduran otoklavsız gazbeton kâgir blok test örneklerinde yoğunluk artışı gözlenmiş olup 1118 kg/m^3 değerinde olduğu hesaplanmıştır. Al ihtiva oranının %0,04 artırılmasıyla %13,1 hafifleme, Al oranının %0,07 artırılmasıyla ise %32,7 kuru birim hacim ağırlık değeri düşüşü saptanmıştır. Ağırlıkça en fazla lif kullanım değeri %2 lif bulunduran test örneklerinde Al kullanım oranının %0,08 olmasıyla birim hacim kütle değeri 1128 kg/m^3 bulunmuştur. Kullanılan Al miktarının artmasıyla karışımdaki %0,12'lik Al ilavesi %17,9 hafiflemeye, %0,15'lik Al kullanımı ise %5,7'lik daha hafifleme sağlayarak toplamda %0,08 Al kullanılan örneklerden %22,6 düşük birim hacim kütleyle sahip olduğu hesaplanmıştır. Genel olarak %0,08 ve %0,12 Al ihtiva oranına sahip numunelerde lif kullanımlarında aynı etkiler gözlenirken %0,15 Al içeren karışım örneklerinde tam tersi etkilere rastlanmıştır.

3.3. Genleşme Oranı

Genleşme miktarı otoklavsız gazbeton test örneklerinin ön değerlendirmesi açısından önemli bir parametredir. Özellikle, numuneler arasında birim hacim kütle hakkında kıyaslama yapmakta kolaylık sağlamaktadır. Otoklavsız gazbeton kâgir bloklarda genleşme oranının kuru birim hacim kütle ile tersine bir ilişkisinden bahsedilebilmektedir. Bunun yanında, ısı ve ses yalıtım değerleri ile basınç dayanımında da etkili olduğu görülmektedir. Yüksek genleşme oranına sahip blok ürünlerde basınç dayanım değerlerinin düşük olmasından dolayı gazbeton kâgir blok elemanları taşıyıcı olmayan yapı birimlerinde kullanıma uygun görülmektedir. Bu çalışmada hazırlanan tüm test örneklerin genleşme oranlarındaki değişim grafiksel olarak Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. Otoklavsız test örneklerinin genleşme oranı değişimi.

Bu analizden görüleceği üzere, test örnekleri her bir lif kullanım oranı içerisinde değerlendirildiğinde en düşük genleşme oranının %0,08 Al ihtiva oranına sahip numunelerde olduğu anlaşılmaktadır. En yüksek genleşme değerleri, karışımda %0,15 Al içeren örneklerde görülmüştür. Karışımlarda ağırlıkça Al oranı arttırıldığında genleşme oranlarında artış olduğu saptanmıştır. Karışım harcına lif ilavesi yapılmayan, %0,08 Al kullanılan MK1 numuneleri %10 genleşme gösterirken, yine lif içermeyen fakat Al kullanım oranı %0,12 olarak tercih edilen MK2 örneklerinde 3,17 kat artış göstererek %31,7 kadar genleşmiş ve lif içermeyen, %0,15 Al oranına sahip MK3 numunelerinde 4,15 kat ilave genleşmeyle nihai olarak %41,5 oranında

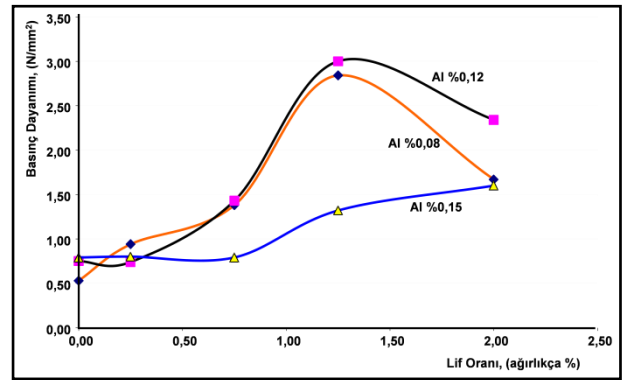
genleşme meydana geldiği belirlenmiştir. Harç karışımlarında %0,25 lif ve %0,08 Al içeren numuneler ortalama %7,9 genişirken Al miktarının artmasıyla bu genişleme değeri %0,12 Al kullanımında 2,32 kat artış; %0,15 Al kullanımında ise 4,22 kat artış göstermiştir. Lif kullanım miktarı %0,75 tercih edildiğinde Al kullanım oranına bağlı olmak koşuluyla genişleme oranlarında da artış görülmektedir. %0,75 lif içeren test örneklerinden Al kullanım oranı %0,08 olanların ortalama genişleme değeri %3,3'tür. Ağırlıkça Al kullanımı %0,12'ye çıkartıldığında genişleme miktarında 2,88 kat artış; Al kullanım oranı %0,15'e yükseltildiğinde ise 12,03 kat genişleme karakteristiğinde artış eğilimi olduğu belirlenmiştir. Buradaki yüksek artışın sebebi, genişleme sürecinde oluşan kimyasal reaksiyona bağlı toplam gözenekliliğin artışından kaynaklanmaktadır. Harç içeriğindeki lif miktarı %1,25'e getirildiğinde ise %0,08 Al oranına sahip MC1 numuneleri neredeyse genişememiş olup, genişleme pozisyonları sıfır mertebelerindedir. Bu durumun, lif malzemenin kullanım oranının artmasıyla matris yapıda çökmeye sebep olabileceği tecrübe edilmiştir. Bileşiminde %1,25 lif ve %0,12 Al bulunduran MC2 örneklerinde genişleme oranı %7,2 iken %0,15 Al içeren MC3 numunelerinde ise genişleme oranının %30,2 seviyelerine ulaştığı görülmüştür. Çalışma kapsamında lif oranı en yüksek değer olan ağırlıkça %2'lik lif içeriğine sahip numuneler incelendiğinde Al ihtiva oranı %0,08 olan numunelerin genişleme oranı %1,25 lif içeren numuneyle aynı düzeyde sıfır mertebelerinde olduğu gözlenmiştir. Bileşiminde %2 lif ve %0,12 Al bulunduran MD2 örneklerinde genişleme oranı %6,7 iken %0,15 Al içeren MD3 numunelerinde ise genişleme oranının %20,6 seviyelerine yükseldiği görülmüştür.

Çalışma kapsamında hazırlanan test örneklerinden %0,08 Al ve %0,12 Al içeren karışımlar ele alındığında lif kullanım oranının artırılmasının genişlemeyi olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılabilmektedir. Özellikle, %0,75 lif kullanımından itibaren lif ihtiva oranı artışları her iki Al kullanım oranı bazında da genişlemede değişim eğilimine yol açmadığı, genişleme oranlarının benzer değerlerde seyrettiği tecrübe edilmiştir. İçeriğinde %0,15 Al

bulunduran otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanlarında %0,25 lif kullanımıyla genişleme oranında düşüş gözlenirken, lif oranının %0,75'e çıkarılmasıyla genişleme miktarında da yükseliş saptanmıştır. Lif oranı artırılmaya devam ettiğinde numune genişleme oranları hakkında neredeyse lineer bir düşüşten bahsedilebilmektedir.

3.4. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı, yapı blok elemanları için oldukça önemli bir mekanik parametredir. Ürün basınç dayanımının saptanması yoluyla kâgir blok elemanın uygulama yerinde taşıyabileceği yük miktarı belirlenebilmektedir. Harç dayanımını artırmak amacıyla sıklıkla tercih edilen yöntem harca donatı bileşeni ilavesi yapılması olduğu söylenebilmektedir. Bu yüzden, mekanik dayanımın artırılması amacıyla harç içerisinde değerlendirilebilecek donatı materyallerinin içerik, boyut ve kullanım miktarları ürün geliştirme çalışmalarında üzerinde oldukça yoğunlaşılan bir husustur. Bu çalışma kapsamında 3 ayı Al ihtiva oranının, belirli oranlarda lif ilavesi yapılarak elde edilen otoklavsız gazbeton kâgir blok numunelerinin 28 gün kür sonrası ölçülen mekanik dayanım değerlerine etkileri incelenmiştir. İncelemeden elde edilen bulgular ışığında ortalama değerler Çizelge 2'de, grafiksel gösterimi ise Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Lif kullanım oranı - 28 gün kür sonrası basınç dayanım değerleri analizi.

Çalışma kapsamında hazırlanan numunelerden Al ihtiva oranı %0,08 olan numunelerin basınç dayanım değerleri 0,53 N/mm² – 1,67 N/mm² aralığında; %0,12 Al içeren test örneklerin değerleri 0,75 N/mm² – 2,34 N/mm² aralığında; %0,15 Al oranına

sahip numunelerin ise $0,79 \text{ N/mm}^2 - 1,6 \text{ N/mm}^2$ aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Grafikselleştirilmeden de anlaşılacağı üzere, lif ilavesi yapılmaksızın hazırlanan kontrol örneklerinden Al oranı %0,08 olan MK1'in 28 gün kür süresi sonundaki basınç dayanım değeri $0,53 \text{ N/mm}^2$ iken, Al oranının %0,12'ye çıkartıldığı MK2 kodlu numunelerde ortalama basınç dayanım değerinin %41,5 artışla $0,75 \text{ N/mm}^2$; Al kullanım oranı ağırlıkça %0,15 olan MK3 kontrol numunelerinin ise %49,1 artış göstererek $0,79 \text{ N/mm}^2$ olduğu belirlenmiştir. Lif kullanılmaksızın üretilen otoklavsız gazbeton kâgir blok örneklerinde Al miktarının artışıyla basınç dayanımında yükselme meydana geldiği söylenebilmektedir. %0,25 lif ihtiva eden numuneler bazında basınç değerlendirilmesi yapıldığında %0,08 Al içeren MA1 numunelerinin ortalama değeri $0,94 \text{ N/mm}^2$ bulunmuşken Al miktarının %0,12'ye çıkarılmasıyla dayanımda %21,3 düşüş ve Al miktarının %0,15'e yükseltilmesiyle de %14,9'lük basınç dayanımı düşüşü olduğu belirlenmiştir. Harç içerisinde kullanılan ağırlıkça lif yüzdesi %0,75 olan MB kodlu numunelerden MB1'in basınç dayanım değeri $1,38 \text{ N/mm}^2$ olarak saptanmıştır. MB2 numunelerinde Al miktarındaki artışla %3,6 iyileşme görülmesine karşın Al'ün daha da artırıldığı MB3 numunelerinde basınç dayanım değerinde %42,8 düşüş gözlenmiştir. Basınç dayanımlarında en yüksek değerler %1,25 lif oranına sahip MC kodlu numunelerden elde edilmiştir. En düşük Al ihtiva oranındaki MC1 kodlu örneklerde ortalama dayanım değeri $2,84 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Al miktarı artırılan MC2 kodlu örnek dayanımlarında %5,6'lık iyileşme, MC3 kodlu numune dayanımlarında aşırı genleşmeye bağlı olarak %53,5 zayıflama meydana gelmiştir. En yüksek lif ve %0,08 Al kullanım oranında hazırlanan MD1 örneklerinin ortalama basınç dayanım değeri $1,67 \text{ N/mm}^2$ belirlenmiştir. Otoklavsız gazbeton örneklerinde Al kullanım oranının %0,12'ye yükseltildiği MD2 kodlu numunelerde basınç dayanımının %40,1 artış gösterdiği, Al'ün %0,15'e çıkartılmasıyla da MD3 kodlu numunelerde %4,2 düşüş sergilediği görülmektedir.

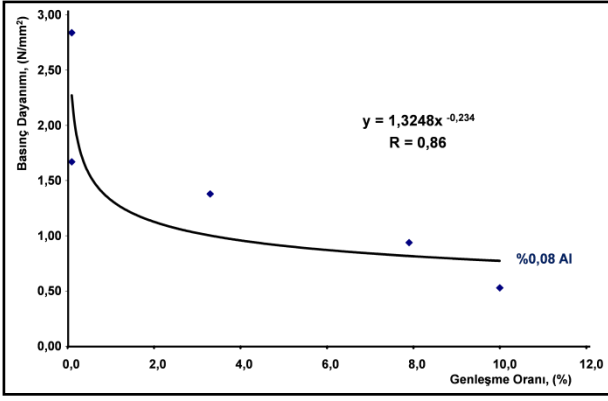
Çalışmada lif kullanımının basınç dayanımına belirgin olumlu etkileri olduğu görülmektedir. Bunun nedeni liflerin donatı materyali ve kompaktlık

özellikleri sayesinde oluşturduğu bağdan kaynaklıdır. Elde edilen bu bulgular bağlamında, Al oranının %0,15 kullanıldığı numunelerde ağırlıkça lif oranının artmasıyla matris yapı kuvvetlenmeye devam ederek basınç dayanım değerlerinde iyileşme göstermeye devam etmiştir. Ancak alüminyumun %0,08 ve %0,12 oranında ihtiva ettiği test örneklerinde basınç dayanımı %1,25 lif kullanımında görece yüksek sonuçlar verirken lif kullanımının artırılmasıyla dayanım değerlerinde düşüş eğilimi sergilediği görülmektedir. Deney sonuçlarından yola çıkarak, hazırlanan otoklavsız gazbeton kâgir bloklardan özellikle lif olmaksızın üretilen ve ağırlıkça %0,25 lif ihtiva oranına sahip numunelerin beklenen seviyelerde dayanım değerlerine cevap veremediği söylenebilmektedir. Karışımda ağırlıkça Al kullanım oranı %0,08 ve %0,12 numunelerin %0,75 ve üstü lif kullanımlarında elde edilen dayanım değerleri, ürünün taşıyıcı olmayan dolgu duvar ve yalıtım malzemesi olarak kullanımlarına imkân tanımaktadır. Bu durum %0,15 Al ihtiva oranına sahip örneklerde %1,25 ve üstü lif kullanımları için geçerli olabildiği görülmektedir.

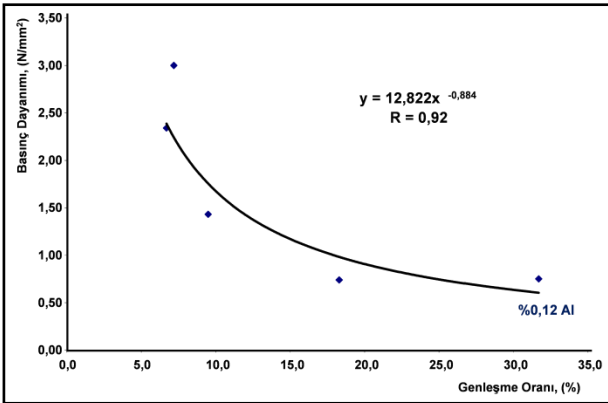
3.5. Genleşme – Basınç Değişimi

Gazbeton kâgir bloklarda genleşme oranı ile basınç dayanımı arasında tersine gelişen bir ilişkiden bahsedilebilmektedir. Çalışma kapsamında hazırlanan test örneklerinden elde edilen dayanım ve genleşme değerleri Şekil 10 – 12'de grafikselleştirilerek ele alınmıştır.

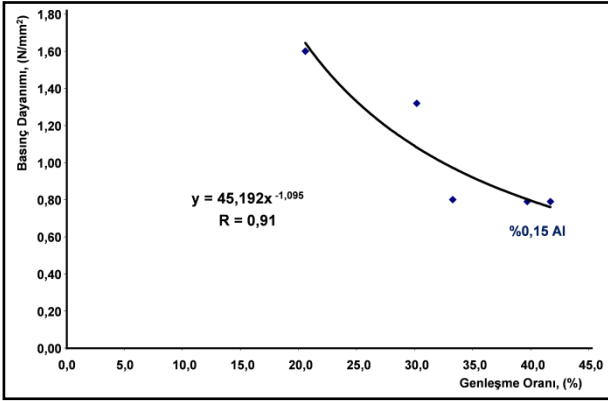
Otoklavsız gazbeton kâgir blok numunelerinin genleşme oranına bağlı basınç dayanım değerleri incelendiğinde tüm Al kullanım oranlarında genleşme oranının artmasıyla basınç dayanımında genel bir düşüş eğilimi gerçekleştiği elde edilen korelasyonlarca desteklenebilmektedir.



Şekil 10. %0,08 Al içeren test örneklerinde genişleme oranı – basınç dayanımı ilişkisi.



Şekil 11. %0,12 Al içeren test örneklerinde genişleme oranı – basınç dayanımı ilişkisi.

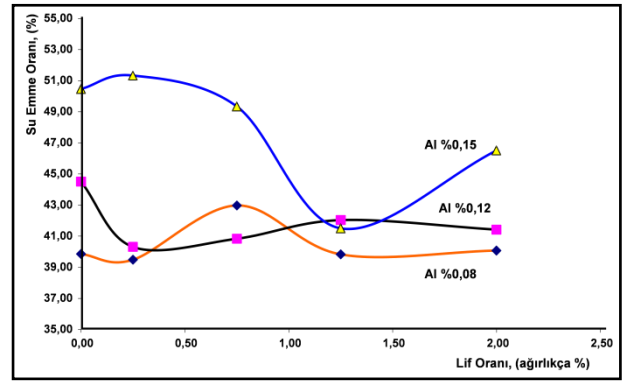


Şekil 12. %0,15 Al içeren test örneklerinde genişleme oranı – basınç dayanımı ilişkisi.

3.6. Kütlece Su Emme

Uygulama yerinde yüzeyleri sıva uygulanmaksızın kullanılması planlanan, suya maruz kalabilecek ortamlarda otoklavsız gazbeton kâgir bloklar ile örülmesi düşünülen duvarlar için malzemenin kütlece su emme değeri diğer mekanik

parametreleri de etkileyeceğinden dolayı oldukça önemlidir. Bünyesinde yüksek nem tutma özelliğine sahip yapı elemanlarının ısı performanslarında önemli ölçülerde düşüşler meydana geldiğinden bahsedilebilmektedir. Aynı zamanda nemin başka bir olumsuz etkisi olarak, malzemenin yük taşıma kapasitesinde de dirençsizliğe sebep olduğu bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında farklı Al ve lif kullanım oranlarının otoklavsız gazbeton kâgir blok elemanların kütlece su emme değerleri üzerindeki etkilerinin grafiksel gösterimi Şekil 13’de verilmiştir.



Şekil 13. Lif kullanım oranı ve kütlece su emme değerleri analizi.

Analiz verilerinden de görüleceği üzere, karışım harcında %0,08 oranında Al ihtiva eden lifsiz kontrol örneklerinin ortalama kütlece su emme değeri %39,86 iken, Al kullanımının artırıldığı MK2 kodlu örneklerde %44,51’e ve MK3 kodlu numunelerde %50,46’ya kadar yükselmiştir. Bu su emme değerindeki yükselme trendinin, lif etkisi olmaksızın sadece Al kullanım oranının artırılmasıyla oluşan gözenekli matris yapının nem tutmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışma kapsamında hazırlanan lif katkı, %0,08 Al ihtiva oranına sahip numunelerin kütlece su emme değerleri ortalama %39,49 - %42,98 aralığında küçük bir değişim göstermektedir. Lif katkısı yapılan, %0,12 Al içeren test örneklerinin su emme oranı ise %40,31 - %42,04 değerleri aralığında yine küçük bir değişim olarak görülebilmektedir. Ancak lif katkılı, bileşiminde %0,15 Al ihtiva eden otoklavsız gazbeton kâgir blok örneklerin kütlece su emme değerleri %41,5 - %51,32 aralığında diğerlerine nazaran daha büyük bir değişim sergilediği belirlenmiştir. Lif materyalin karışımda %0,25 ihtiva oranına sahip

olduğu MA kodlu numunelerden MA1'in su emme değeri kütlece %39,49 değerinde bulunmuştur. Al değerinin artırıldığı MA2 kodlu örneklerde %2,08 ve MA3 numunelerinde ise %29,96'lık bir kütlece su emme artış eğiliminden bahsedilebilmektedir. %0,75 lif içeren harç karışımlarından %0,08 Al kullanım oranına sahip MB1 kodlu numunelerin kütlece su emme değeri %42,98 saptanmıştır. Ağırlıkça %0,12 Al oranına sahip karışımlarda bu su emme değerinin %4,97 oranında düştüğü, %0,15 Al oranıyla hazırlanan örneklerde ise %14,79 oranında arttığı tespit edilmiştir. %1,25 lif kullanım oranına sahip MC kodlu numunelerde kütlece su emmelerin birbirlerine oldukça yakın değerlerde olduğu göze çarpmaktadır. %0,08 Al içeren MC1 kodlu numunelerin ortalama su emme değeri %39,83 belirlenmiştir. Harç içerisindeki Al kullanımının artırılması, MC2 örneklerinde %5,53 ve MC3 örneklerinde ise %4,18 oranında su tutma kapasitesi artışına neden olmuştur. %0,15 Al ihtiva eden, %0,75 lif katkılı numunelere lif ilavesi yapıldığında su emme değerlerinde önemli düzeyde bir düşüş eğilimi göze çarpmaktadır. Ancak %1,25 lif oranının üstüne lif ilavesi yapılmaya devam edildiğinde ise, bu takdirde su tutma eğiliminin yükseldiği belirlenmiştir. Ağırlıkça %2 lif katkısıyla hazırlanan otoklavsız gazbeton numunelerinden MD1 kodlu örneğin kütlece su emme değeri %40,08 olarak hesaplanmıştır. MD2 ve MD3 numunelerinde Al oranının artışıyla kütlece su emme kapasitelerinde sırasıyla %3,34 ve %16,02'lik büyüme söz konusu olmuştur.

3.7. Görünür Gözeneklilik

Görünür gözenekliliğin, matris yapıda meydana gelen hava kabarcıkları ile gazbeton toplam hacmi arasındaki yüzde ilişkisi olduğundan söz edilebilmektedir. Bu parametre, kâgir blok elemanların birim hacim kütle, dayanım, ısı performans ve ses yalıtım gibi diğer önemli parametre değerlerini etkilemektedir. Yüksek gözenek yapısına sahip elemanların efektif ısı iletkenlik değeri de düşük olmaktadır. Bunun nedeni, matris yapıda bulunan havanın ısı performansının yüksek olması olarak açıklanabilmektedir. İlave olarak görünür porozite, gözenekli yapıya sahip ürünlerin bünyelerinde

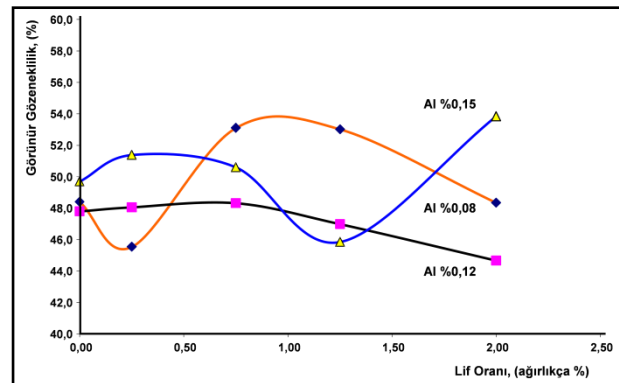
hapsolan durağan hava sayesinde birim hacim kütlelerde düşüş ve akustik empedans değerlerinde iyileşmeler sağlayabilmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen görünür gözeneklilik yüzdesi, birim hacim kütle ve kütlece su emme değerinin bir fonksiyonu olarak belirlenmiş ve aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$P_1 = \frac{W_f \times \rho_t}{\rho_w} \quad (1)$$

Burada;

- P_1 : Görünür gözeneklilik (%),
 W_f : Kütlece su emme (%),
 ρ_t : Kuru birim hacim kütle (kg/m^3),
 ρ_w : Suyun yoğunluğu (kg/m^3)

Çalışma kapsamında 3 ayrı Al kullanım miktarı için lif kullanılmaksızın ve lif takviyeli üretilen otoklavsız gazbeton kâgir blok örneklerin 28 gün kür süresinin sona ermesinin ardından hesaplanan görünür gözeneklilik değerleri karşılaştırmalı irdelenmiştir. Hesapta kullanılan görünür gözeneklilik yaklaşımı ile elde edilen bulgular Çizelge 2'de verilmiştir. Grafikselsel karşılaştırmalı analizi de Şekil 14'te gösterilmektedir. Çalışma kapsamında hazırlanan numunelerden Al ihtiva oranı %0,08 olan numunelerin görünür porozite yüzdeleri %45,5 - %53,1 aralığında; %0,12 Al içeren test örneklerin değerleri %44,7 - %48,3 aralığında; %0,15 Al oranına sahip numunelerin ise %45,8 - %53,8 aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 14. Lif kullanım oranı ve 28 gün kür sonrası görünür gözeneklilik oran değerleri analizi.

Görünür gözeneklilik hesaplamalarından elde edilen verilerden yapılabilecek çıkarımlara göre, lif

takviyesi yapılmadan hazırlanan kontrol numunelerinden Al oranı %0,08 olan MK1 kodlu test örneklerin 28 gün kür süresi sonundaki görünür gözeneklilik yüzde değeri %48,4 iken, Al oranının %0,12'ye çıkartıldığı MK2 kodlu numunelerde ortalama porozite değerinin %1,25 düşüşle %47,8; Al kullanım oranı ağırlıkça %0,15 olan MK3 kontrol numunelerinin ise %2,67 artış göstererek %49,7 olduğu hesaplanmıştır. MK kodlu lif kullanılmaksızın üretilen otoklavsız gazbeton kâgir blok örneklerinde Al kullanım miktarının görünür gözeneklilik değerleri arasında önemli ölçüde farklılık göstermediği söylenebilmektedir. %0,25 lif ilavesi yapılan numuneler bazında porozite kıyaslaması yapıldığında Şekil 2 – Şekil 6 görsellerinde görüleceği üzere, matris yapıda oluşan gözenek oranı, boyutları ve dağılımlarında Al kullanım yüzdesine bağlı olarak karışım kombinasyonlarında meydana gelen kimyasal reaksiyonların etkisinden söz edilebilmektedir. Ayrıca atık lif katkısının matris yapıda lif miktarına bağlı olarak saçınım düzeni de görülebilmektedir. Özellikle, ağırlıkça % Al kullanım oranının artırılmasıyla test örneklerinin matris yapısında gözenek boyutlarının büyüdüğü gözlenmiştir. Bu durum neticesinde Al kullanım miktarıyla genleşme oranı arasında doğrusal bir ilişki kurulabileceğini sembolize etmektedir. Matris yapıda gözeneklilik artışının dayanımı olumsuz yönde etkilediği, daha zayıf dayanımlı matris yapılar oluşturduğu bilinmektedir. Böylelikle Al miktarındaki artışın, matris yapının dayanım ve diğer mekanik özellikleri ile ters orantılı olarak eğilim gösterdiği tecrübe edinilmektedir. Lif kullanım miktarının artırılmasına bağlı olarak matris yapıdaki lifler arasında topaklanma, ayrışmama, saçınımlarında da düzensizliklerin olabildiği gözlenmiştir.

%0,08 Al içeren MA1 numunelerinin ortalama değeri %45,5 iken, Al miktarının %0,12'ye yükseltilmesiyle görünür gözeneklilik yüzdesinde %5,54 artış ve Al kullanım miktarının %0,15'e çıkartılması ile de %12,83'lük bir artışın söz konusu olduğu anlaşılmıştır. Karışımlarda %0,25 lif ihtiva oranlı MA kodlu örneklerde Al kullanım oranının artmasına bağlı olarak görünür gözeneklilik yüzdesinin arttığı belirlenmiştir. Ağırlıkça lif yüzdesi

%0,75 olan MB kodlu numunelerden MB1'in görünür porozite değeri %53,1 olarak hesaplanmıştır. MB2 numunelerinde Al miktarındaki artışla %8,99 kadar gözenek yapısında azalma ve Al'ün daha da artırıldığı MB3 numunelerinde gözeneklilik yüzde değerinde %4,71'lik düşüş gözlenmiştir. Harç içeriğindeki lif miktarı %1,25'e getirilen, %0,08 Al oranına sahip MC1 numunelerinin ortalama görünür gözeneklilik değeri %53 olarak hesaplanmıştır. Al miktarı artırılmış MC2 kodlu örneklerin gözeneklilik değerlerinde %11,36 azalma, MC3 kodlu numune gözenekliliğinde %13,53 zayıflama meydana geldiği saptanmıştır. En yüksek lif ve en düşük Al kullanım oranında hazırlanan MD1 örneklerinin ortalama görünür gözeneklilik değeri %48,3 olarak belirlenmiştir. Otoklavsız gazbeton örneklerinde Al kullanım oranının %0,12'ye yükseltildiği MD2 kodlu numunelerde porozite yüzdesinin %7,59 düşüş sergilediği, Al'ün %0,15'e çıkartılmasıyla da MD3 kodlu numunelerde %11,36 artış gösterdiği tespit edilmiştir. En yüksek görünür gözeneklilik değeri %2 lif ve %0,15 Al ihtiva oranına sahip MD3 kodlu numunelerin veri ortalamasından elde edilmiştir. En düşük porozite değeri ise yine %2 lif içeren ancak Al ihtiva oranı %0,12 olan MD2 kodlu örneklerin hesaplanan ortalama gözeneklilik değerinden tespit edilmiştir.

3.8. Sismik Hız

Sismik hız, malzeme içerisinden geçen dalga hızı süresinin problar arası mesafeye oranı olarak tanımlanabilmektedir. Bilindiği üzere, ultrasonik enerji havayla bulunduğu alıcı ve verici problar arasındaki iletimde gecikme yaşanmaktadır. Bu ölçüm sayesinde malzeme yapısında bulunan boşluk oranı hakkında bilgi edinilebilmektedir. Böylelikle malzeme içerisinde oluşmuş boşluk, kırık, bozulma durumları tespit edilebilmektedir. Bunların yanında basınç dayanım değerleri hakkında ön fikir sahibi olma imkânı da sağlamaktadır. Genel olarak sismik hız değerlerinin basınç dayanımlarıyla doğrusal ilişkisi olduğu bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında tüm test numunelerinin sismik dalga geçiş süreleri doğrudan ölçüm tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Bu ölçümden elde edilen veriler aşağıdaki eşitlik

yardımla sismik hız değerleri hesaplanmış olup, bulguların grafiksel analizi ise Şekil 15’de verilmiştir.

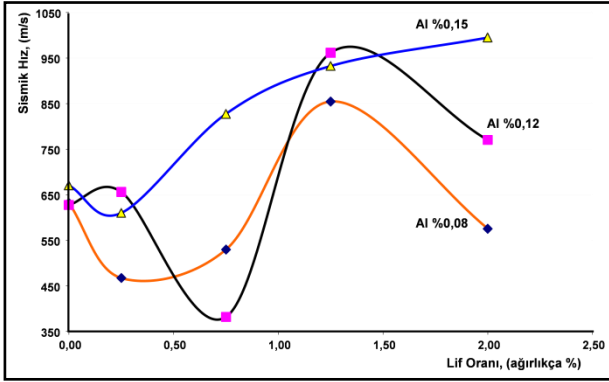
$$V = \frac{L}{t} \quad (2)$$

Burada;

V : Sismik hız (m/s),

L : Problar arası mesafe (m),

t : Sismik dalga geçiş süresi (s).



Şekil 15. Lif kullanım oranı ve sismik hız değerleri ilişkisi.

Analiz bulgularına göre, karışım harcı içeriğinde %0,08 oranında Al ihtiva eden lif ilavesiz kontrol örneklerin ortalama sismik hız değeri 632 m/s iken, Al kullanımının artırıldığı MK2 kodlu örneklerde 627 m/s’ye düşmüş ve MK3 kodlu numunelerde ise 670 m/s’ye yükselmiştir. Kontrol numunelerinin kendi aralarında yakın sismik hız değerlerine sahip olduğu göze çarpmaktadır. Buradan Al kullanım oranındaki değişikliklerin lif kullanım miktarlarındaki değişikliklerden daha az etki oluşturduğu söylenebilmektedir. Çalışma kapsamında hazırlanan lif katkı, %0,08 Al kullanım oranına sahip numunelerin sismik hız değerleri ortalama 467 m/s – 854 m/s aralığında bir değişim göstermektedir. Lif katkısı yapılan, %0,12 Al içeren test örneklerinin sismik hızları ise 382 m/s – 961 m/s değerleri aralığında bir değişim göstermektedir. Lif ilavesi yapılmış, %0,15 Al içeriğine sahip otoklavsız gazbeton kâgir blok örneklerin sismik hız değerleri 610 m/s – 995 m/s aralığında bir değişim sergilediği belirlenmiştir. Lif malzemenin karışımda %0,25 kullanım oranına sahip olduğu MA kodlu numunelerden MA1’lerin ortalama sismik hızı değeri 467 m/s olarak bulunmuştur. Al kullanım oranının artırıldığı MA2 kodlu örneklerde %40,39 ve

MA3 numunelerinde ise %30,52’lik bir sismik hız artış eğiliminden bahsedilebilmektedir. %0,75 lif içeren bu test örneklerinden Al kullanım oranı %0,08 olanların ortalama sismik hız değeri 530 m/s’dir. Ağırlıkça Al kullanımı %0,12’ye çıkartıldığında sismik hız değerlerinde %27,92 azalma; Al kullanım oranı %0,15’e yükseltildiğinde ise %56,19 artma eğilimi ile karşılaşmıştır. %1,25 lif kullanım oranına sahip MC kodlu numunelerde %0,08 Al içeren MC1 örneklerinin ortalama sismik hız değeri 854 m/s belirlenmiştir. Harç içerisindeki Al kullanımının artırılması, MC2 örneklerinde %12,52 ve MC3 örneklerinde ise %9,11 oranında sismik hızların artışına neden olmuştur. Basınç dayanım grafiğiyle birlikte mukayese edildiğinde sismik hızların %1,25 lif kullanımıyla elde etmiş olduğu değer yüksekliklerinin basınç dayanımlarına da olumlu yönde yansıdığı fark edilmektedir. Ağırlıkça %2 lif katkısıyla hazırlanan otoklavsız gazbeton numunelerinden MD1 kodlu örneğin sismik hız değeri 575 m/s olarak hesaplanmıştır. MD2 ve MD3 numunelerinde Al oranının artışıyla sismik hız değerlerinde sırasıyla %33,81 ve %72,83’lük artış söz konusu olmuştur.

3.9. Akustik Empedans

Ses empedansı ve akustik direnç de denilen akustik empedans, Z harfi ile sembolize edilebilmektedir. Malzemenin, gelen ultrasonik ses dalgalarına karşı koyduğu direnç olarak tanımlanabilmektedir. Akustik empedans hesaplamaları vasıtasıyla malzemelerin ses yutma katsayıları ifade edilebilmektedir. Malzemeye gönderilen akustik dalgalar, matris yapının özelliklerine göre davranış sergilemektedir. Z harfi ile ifade edilen akustik empedans, malzemenin sismik hız değeri ile yoğunluk değerleri çarpımıyla elde edilmektedir. Bu çalışmada akustik empedans değerleri belirlenirken aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır:

$$Z = V \times \rho_t \quad (3)$$

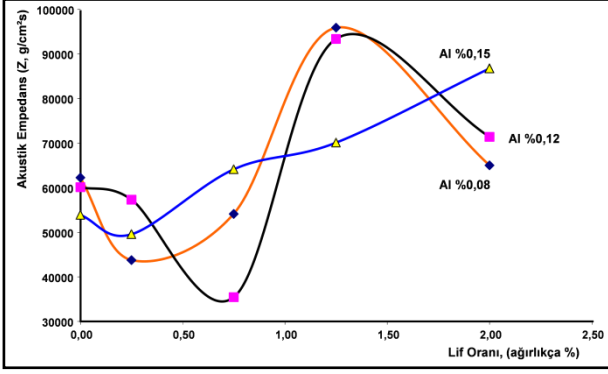
Burada;

Z : Akustik empedans (g/cm²s),

V : Malzemedeki ultrasonik dalga hızı, sismik hız (m/s),

ρ_t : Kuru birim hacim kütle (kg/m³).

Bu çalışma kapsamında farklı Al ve lif kullanım oranlarında hazırlanan otoklavsız gazbeton kâgir blok elemanların akustik empedans değerlerinde matris yapılar içerisinde kullanılan malzeme ihtiva oranlarının ürün üzerindeki etkileri verisel olarak Çizelge 2’de, grafiksel gösterim olarak ise Şekil 16’da verilmiştir.



Şekil 16. Lif kullanım oranı ve akustik empedans değerleri analizi.

Bu çalışma kapsamında yapılan hesaplamalar ışığında, lif kullanılmaksızın üretilen test örneklerin sismik hız değerlerinin birbirlerine yakın olması dikkat çeken bir husustur. Lif içermeyen numuneler arasında en düşük akustik dirence %0,15 Al ihtiva eden numuneler sahip iken, en yüksek akustik empedansa %0,08 Al içeren numunelerin sahip olduğu görülmektedir. En yüksek akustik empedans değerleri, karışımda %0,08 Al ve %1,25 oranında lif içeren MC1 örneklerinde görülmüştür. MC1’i, ihmal edilebilecek değer farkıyla MC2 kodlu numuneler takip etmektedir. Sismik hız ve birim hacim kütle ile doğrudan ilgili olan akustik empedans değerinin MB3 kodlu numunelerde en düşük değere sahip olması beklendik bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Karışım harcına lif ilavesi yapılmayan, %0,08 Al kullanılan MK1 numuneleri 62230 g/cm²s akustik direnç gösterirken, yine lif içermeyen fakat Al kullanım oranı %0,12 olarak tercih edilen MK2 örneklerinde %3,41 düşüş göstererek 60108 g/cm²s ve lif içermeyen, %0,15 Al oranına sahip MK3 numunelerinde %13,41 kadar azalma meydana gelerek 53886 g/cm²s akustik empedans meydana geldiği hesaplanmıştır. Harç karışımlarında %0,25 lif ve %0,08 Al içeren numuneler ortalama 43759 g/cm²s ses empedansına sahip olduğu belirlenirken Al miktarının artmasıyla bu empedans değeri %0,12

Al kullanımında %30,98; %0,15 Al kullanımında ise %13,24 artış göstermiştir. %0,75 lif içeriğine sahip numunelerden Al kullanım oranı %0,08 olanların ortalama akustik dirençleri 54130 g/cm²s bulunmuştur. Ağırlıkça Al kullanımı %0,12’ye yükseltildiğinde akustik empedans sonuçlarında %34,51 azalma; Al kullanım oranı %0,15’e çıkartıldığında ise %18,45 kadar ses empedansı değerlerinde artış eğilimi ile karşılaşılmıştır. Lif kullanım miktarı %1,25 tercih edildiğinde sismik hız ve kuru birim hacim kütleyle bağlı olarak üç Al kullanım oranında da akustik direnç iyileşmesi gözlenmiştir. Harç içeriğindeki lif miktarı %1,25 olan ve aynı zamanda %0,08 Al oranına sahip MC1 numunelerinin akustik empedans değeri 95869 g/cm²s hesaplanmıştır. Bileşiminde %1,25 lif ve %0,12 Al bulunduran MC2 örneklerinde MC1 test örneklerine nazaran %2,64; %0,15 Al içeren MC3 numunelerinde %26,89 akustik direnç düşüşü ile karşılaşılmıştır. En yüksek lif içeriği olarak belirlenen %2 lif oranına sahip numuneler incelendiğinde Al ihtiva oranı %0,08 olan MD1 numunelerin akustik empedans değeri 65103 g/cm²s bulunmuştur. %2 lif ve %0,12 Al bulunduran MD2 örnekleri MD1 numunelerindeki akustik dirence göre %9,80; %2 lif ve %0,15 Al içeren MD3 numuneleri ise MD1’lerin empedans değerlerine göre %33,39 yükseliş eğilimi gösterdiği sonucuna varılmıştır.

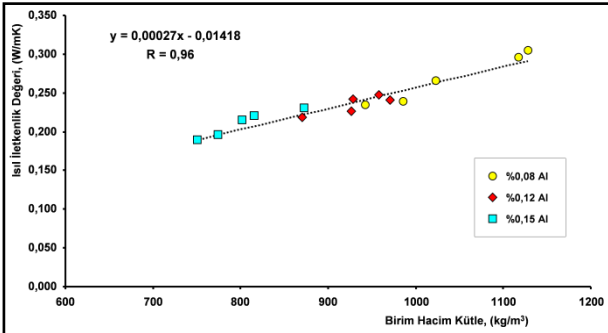
Çalışma kapsamında hazırlanan test örneklerinden %0,08 Al ve %0,12 Al içerenler ele alındığında, lif kullanım oranının akustik empedansta aynı davranışlara yol açtığı görülmektedir. Al ihtiva oranının %0,15 olduğu numunelerde %0,25 lif kullanımıyla az miktarda düşüşle karşılaşıldıktan sonra lif oranının artırılmasıyla akustik empedans değerlerinde düzenli bir artış meydana geldiği saptanmıştır.

3.10. Isıl İletkenlik Özelliği

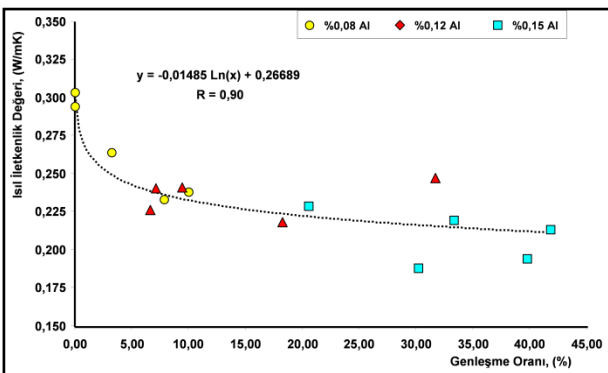
Gazbetonlar, en önemli özelliklerinden biri olan gözenekli yapısı sayesinde ısı performansını yüksek yapı malzemeleridir. Malzemelerin birim hacim kütleleri ve genleşme oranları, ısı iletkenlik (λ) değerlerini doğrudan etkilemektedir. Matris yapıda bulunan gözeneklerin, malzemenin birim hacim kütle değerini düşürürken ısısal konfor özelliğini

iyileştirdiği bilinmektedir. Otoklavsız gazbetonların birim hacim kütle ile genleşme oranlarının basınç dayanımına olumsuz etkileri olduğu bilinmekle birlikte, termal yalıtım değerlerinin muadili malzeme yapılarına göre daha rasyonel düzeylerde iyi değerler sergileyebildiği bilinmektedir. Bu bağlamda, yapı elemanlarında yüksek enerji verimliliğinin arzu edildiği uygulamalarda termal yalıtım performansı yüksek elemanlar olarak kullanımları söz konusu olabilmektedir. Basınç dayanım değerleri görece düşük ve dolayısıyla yük taşıyıcılıkları az olan bu türev malzemeler, taşıyıcı olmayan duvar birimlerinde dolgu elemanı olarak yalıtım amaçlı kâgir blok elemanları bağlamında kullanımları söz konusudur.

Çalışma kapsamında test edilen otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanların 28 gün kür süresi sonunda elde edilen ısı iletkenlik bulguları ortalama değerler olarak Çizelge 2’de verilmiştir. Elde edilen tüm bulgulardan birim hacim kütle ile genleşme oranları ve ısı iletkenlik değerleri arasındaki lineer birer ilişkinin varlığı analiz edilmiş olup, birim hacim kütle değerinin artmasına (genleşme oranının azalmasına) bağımlı olarak ısı iletkenlik değerlerin de regresyonel bir artış eğiliminin varlığı dikkat çekmektedir (Şekil 17 ve Şekil 18).



Şekil 17. Birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik değerleri ilişkisi.



Şekil 18. Genleşme oranı ve ısı iletkenlik değerleri ilişkisi.

Şekil 17 ve Şekil 18 incelendiğinde, çalışma kapsamında üretilen otoklavlanmamış gazbeton elemanların, beklenildiği şekilde birim hacim kütle değerleri ile ısı iletkenlik değerleri arasında söz konusu ilişkinin lineere yakın olduğu görülmektedir. Genleşme oranı yüksek, düşük birim hacim kütleyle sahip numunelerin ısı iletkenliklerinin düşük olduğu ve dolayısıyla ısısal konfor özelliği sayesinde yüksek enerji verimliliği sağladıkları söylenebilmektedir. Lif ilavesi yapılmaksızın elde edilen kontrol örneklerinden %0,08 Al içeriğine sahip MK1 kodlu numunelerin 28 gün kür sonrası ortalama ısı iletkenlik değeri 0,238 W/mK iken, lif ilave edilmeksizin %0,12 Al ihtiva oranına sahip MK2 kodlu örneklerin ortalama ısı iletkenlik değeri 0,247 W/mK, Al kullanım oranı %0,15 olan lif takviyesiz MK3 numunelerin ısı iletkenlik değeri ise 0,213 W/mK olarak belirlenmiştir.

Lif kullanım oranı %0,25 olan MA kodlu numuneler arasında %0,08 Al ihtiva oranına sahip MA1 numunelerin ortalama ısı iletkenlik değeri 0,233 W/mK belirlenmiştir. Al kullanım oranının artırılmasıyla ısı performansının arttığı görülmüştür. Al oranının %0,12’ye çıkartılmasıyla %3,64 ısı iletkenlik artışı, Al’un %0,15’a çıkartılması ile de ısı yalıtım performansında %10,5 iyileşme sağlanmıştır. Karışım harcında %0,75 ve %1,25 oranında lif kullanılan MB ve MC numunelerinde Al oranının artırıldığı her kademedeki daha fazla ısısal konfor sağlanabildiği tecrübe edilmiştir. Lif kullanım oranı %0,75 olan, %0,08 Al oranına sahip MB1’lerde ortalama ısı iletkenlik değeri 0,264 W/mK belirlenmiş iken, bu harç kombinasyonunda Al oranının %0,12’ye çıkartılmasıyla %9,54; Al kullanım oranının %0,15’e çıkartılmasıyla da %26,52 ısı performans iyileşmesi tespit edilmiştir. Benzer bir durum %1,25 lif içeren MC kodlu numuneler için de geçerli olmuştur. %0,08 Al ihtiva oranına sahip MC1 kodlu test örneklerin ısı iletkenlik değeri 0,294 W/mK hesaplanmıştır. Al oranının %0,12’ye çıkartıldığı MC2 örneklerinde %18,37 kadar yalıtım özelliği kazanırken, %0,15 Al kullanım oranıyla elde edilen MC3 numunelerinde %36,05 gibi büyük bir oranda ısı performans iyileşmesi tespit edilmiştir. Lifin ağırlıkça %2 oranında kullanıldığı MD kodlu numunelerden %0,08 Al kullanım oranına sahip olan

MD1 örneklerin ısı iletkenlik değeri 0,303 W/mK belirlenmiştir. MD2 ve MD3 örneklerindeki Al kullanım oranında yapılan %0,04 ve %0,07 artışın etkisi neredeyse aynı olmuştur. Al kullanımının %0,12 olduğu test örneklerinde %25,41, Al ihtiva oranının %0,15'e çıkartıldığı MD3 numunelerinde %24,75 ısı iletkenlik düşüşü sergilediği gözlenmiştir. En düşük ısı iletkenlik değerine sahip MC3 kodlu numune bileşeninde %0,15 Al ve %1,25 lif bulunurken, bunu takip eden düşük ısı iletkenlik değerine sahip MB3 örneklerinde de Al kullanım oranının %0,15 olması Al'un etkisine dikkat çekmektedir. Bu verilerden yola çıkarak, otoklavsız gazbeton kâgir blok malzemelerin elde edilmesinde endüstriyel atık liflerin değerlendirilmesiyle Al kullanımının uygunluğu irdelendiğinde sırasıyla %0,15 Al, %0,12 Al ve %0,08 Al ihtiva oranının enerji verimliliğine olumlu etkilerinden bahsedilebilmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, taşıyıcı özellikte olmayan otoklavlanmamış gazbeton kâgir blok elemanı üretimlerinde 5 ayrı oranda endüstriyel atık lif takviyeli ürünlerin 3 ayrı Al ihtiva oranlarındaki teknik davranışları detaylı incelenmiştir. Analizler sonucu elde edilen veriler ışığında, genel olarak %1,25 lif ve %0,12 Al kullanım oranına sahip MC2 numunelerinin diğer test örneklerine kıyasla ideal sayılabilecek sonuçlar verdiği görülmüştür. Al kullanım oranının artışı ve lif takviye edilmesiyle matris yapıda oluşturulan gözenek yapısının arttığı ve boyutlarda büyümeler meydana geldiği gözlenmiştir. Al kullanımının yükseltilmesi gazbeton örneklerinde genleşmeyi desteklerken birim hacim kütleinin düşmesinde de etkin rol oynamıştır. Lif kullanımının genel olarak basınç dayanımını artırdığından bahsedilebilmektedir. Bu tür hafif bloklarda yoğunluğun düşmesiyle basınç dayanımının da düşmesi eğilimi göstermesi beklenmektedir. Diğer bir deyişle, ürünlerin genleşme miktarları arttıkça basınca karşı dirençleri azalmaktadır. Malzemenin nem tutma kapasitesinin fazla olması ısı yalıtımını olumsuz etkileyeceğinden su emme değerleri bakımından karışımlarda %0,08 ve %0,12 Al kullanımı uygunluğunun yanı sıra %0,15 Al ile birlikte %1,25 lif içeren MC3 kodlu örneklerin

de uygunluğundan bahsedilebilmektedir. Lif kullanımının akustik direnci iyileştirici etkileri özellikle %1,25 oranında kullanıldığı MC kodlu numunelerde göze çarpmıştır. Al etkisinin akustik empedans değerlerinin değişiminde büyük ölçüde etkisinden bahsedilememektedir. Ancak Al kullanım oranının otoklavsız gazbeton kâgir blok örneklerin ısı iletkenlik değeri üzerindeki etkisi göz ardı edilemeyecek derecededir. Al kullanım değerinde meydana getirilen artışla doğru orantılı olarak matris yapıda gözenek sayısı çoğalmaktadır ve bu nedenle termal konfor ve enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, Geliş ve Yeşildal(2020)'ın yaptıkları araştırma bulgularındakine benzer şekilde otoklavsız gazbeton örneklerin ısı yalıtım performans değerlerinin örtüştüğü görülmüştür. Bu bağlamda tuğla, bims ve gazbeton duvar malzemelerinin ısı yalıtım ve enerji tasarrufu açısından bölgeler bazında incelemesi yapıldığında maksimum ısı tasarrufu ile minimum enerji tüketiminin gözenekli yapıya sahip olan gazbetonda elde edildiği görülmüştür. Araştırma bulguları detaylandırılıp tüm parametreler göz önünde bulundurulduğunda %0,10-0,12 Al ve %1-1,5 pamuk-sentetik karışımı endüstriyel atık lif katkılı otoklavlanmamış kâgir blok elemanların özellikle taşıyıcı olmayan yapı birimlerinde termal yalıtıma katkı sağlayan yapı malzemesi olarak değerlendirilebileceği görülmüştür. Çalışma kapsamında hazırlanan harç kombinasyonları içerisinde kullanılan materyallerin karışım oranlarında değişiklikler uygulanması, ilave katkı malzemeleri kullanımı ve/veya ilave lif donatı materyalleri takviye edilmesi ile yapılabilecek yeni çalışmalar sayesinde bu çalışmada elde edilen parametrelere kıyasla daha iyi teknik özelliklere sahip, daha da geliştirilmiş otoklavsız gazbeton blok elemanları elde edilebilir.

Teşekkür

Sağladığı laboratuvar imkanlarından dolayı İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

- Bakhshi, M., Mobasher, B., 2011. Experimental observations of early-age drying of Portland cement paste under low-pressure conditions. *Cement and Concrete Composites*, **33(4)**, 474-484.
- van Boggelen, D.R., 2011. Safe aluminium dosing in AAC plants. *Aircrete Europe BV, Oldenzaal, The Netherlands*, 45-50.
- Bonakdar, A., Babbitt, F., Mobasher, B., 2013. Physical and mechanical characterization of fiber-reinforced aerated concrete (FRAC). *Cement & Concrete Composites*, **38**, 82-91.
- Chen, Y-L., Chang, J-E., Lai, Y-C., Chou, M-I. M., 2017. A comprehensive study on the production of autoclaved aerated concrete: Effects of silica-lime-cement composition and autoclaving conditions. *Construction and Building Materials*, **153**, 622-629.
- Geliş, K., Yeşildal, F., 2020. Klasik ve modern yapı elemanları kullanılması durumunda ısı iletim katsayısının değişimi ile minimum yalıtım kalınlığının tayini. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **10 (4)**, 869-877.
DOI: 10.17714/gumusfenbil.725909
- Kaushik, H.B., Rai, D.C., Jain, S.K., 2007. Stress-strain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression. *Journal of Materials in Civil Engineering*, **19**, 728-739.
- Laukaitis, A., Fiks, B., 2006. Acoustical properties of aerated autoclaved concrete. *Applied Acoustics*, **67(3)**, 284-296.
- Laurent, J.P., Guerre-Chaley, C., 1995. Influence of water content and temperature on the thermal conductivity of autoclaved aerated concrete. *Materials and Structures*, **28(182)**, 464-472.
- Mobasher, B., Li, C.Y., 1996. Mechanical properties of hybrid cement-based composites. *Materials Journal*, **93(3)**, 284-292.
- Neville, A.M. and Brooks, J.J., 2010. Concrete technology, second edition, Prentice Hall, Pearson Education, 1-464.
- Perez-Pena, M., Mobasher, B., 1994. Mechanical properties of fiber reinforced lightweight concrete composites. *Cement and Concrete Research*, **24(6)**, 1121-1132.
- Qian, C.X., Stroeven, P., 2000. Development of hybrid polypropylene-steel fibre-reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*, **30(1)**, 63-69.
- Rasheed, M.A., Prakash, S.S., 2015. Mechanical behavior of sustainable hybrid-synthetic fiber reinforced cellular light weight concrete for structural applications of masonry. *Construction and Building Materials*, **98**, 631-640.
- Rasheed, M.A., Prakash, S.S., 2017. Behavior of hybrid-synthetic fiber reinforced cellular lightweight concrete under uni-axial tension - experimental and analytical 20 studies. *Construction and Building Materials*, **162**, 857-870.
- Ronald, F., Carol, D.H., 1998. Engineering material properties of a fiber reinforced cellular concrete. *Materials Journal*, **95(5)**, 631-635.
- Sanytsky M.A., Sobol, H. S., Markiv, T. E., 2010. Modified composite cements: A tutorial/ M.A. Sanytsky, H.S. Sobol, T.E. Markiv. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 1-132.
- Siram, K.K.B., 2012. Cellular light-weight concrete blocks as a replacement of burnt clay bricks. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, **2(2)**, 149-151.
- Slaby, A.A., Aziz, K.I., Hadeed, A.F., 2008. Mechanical properties of porcelinite reinforced concrete beams. *Iraqi Journal of Civil Engineering*, **10**, 1-24.
- Spratt, B.H., 1975. An introduction to lightweight concrete, fifth edition, Cement and Concrete Association, 1-28.
- Sukmana, N.C., Khifdillah, M.I., Nurkholil, A.S., Anggarini, U., 2019. Optimization of non-autoclaved aerated concrete using phosphogypsum of industrial waste based on the taguchi method. *13th Joint Conference on Chemistry (13th JCC) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, **509**, 012095.
- Suriyaprakash, S., Hameed, M., 2018. Review study on foam concrete. *International Journal of Advanced Research in Basic Engineering Sciences and Technology*, **4(12)**, 1-6.
- Tanacan L., Ersoy H., Arpacıoğlu, U., 2009. Effect of high temperature and cooling conditions on aerated concrete properties. *Construction and Building Materials*, **23(3)**, 1240-1248.
- Vijayalakshmi, R., Ramanagopal, S., 2020a. Compression behaviour of polypropylene fibre reinforced cellular

- light weight concrete masonry prism. *Civil And Environmental Engineering Reports*, **30(1)**, 145-160.
- Vijayalakshmi, R., Ramanagopal, S., 2020b. Experimental investigation into banana fibre reinforced lightweight concrete masonry prism sandwiched with GFRP sheet. *Civil and Environmental Engineering Reports*, **30(2)**, 15-31.
- Wittmann, F.H., 1983. Autoclaved aerated concrete, moisture and properties, developments in civil engineering, vol. 6, Elsevier, Amsterdam, 1-380.
- Xia, Y., Yan, Y., Hu, Z., 2013. Utilization of circulating fluidized bed fly ash in preparing non-autoclaved aerated concrete production. *Construction and Building Materials*, **47**, 1461-1467.
- Yuan, B., Straub, C., Segers, S., Yu, Q.L., Brouwers, H.J. H., 2017. Sodium carbonate activated slag as cement replacement in autoclaved aerated concrete. *Ceramics International*, **43(8)**, 6039-6047.

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 065602 (1424-1433)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 065602 (1424-1433)

DOI: 10.35414/akufemubid.947662

Araştırma Makalesi / Research Article

Su Dağıtım Şebekelerindeki Fiziki Kayıpların Önlenmesinde SCADA'nın Önemi: ASKİ Örneği

Mehmet SONGUR¹, Ahmet DABANLI², Burcu YILMAZEL^{3*}, Müzeyyen Anıl ŞENYEL KÜRKCÜOĞLU⁴¹ Ankara Büyükşehir Belediyesi, Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara.² Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ABD, Eskişehir.³ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.⁴ Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Ankara.

*Sorumlu yazar e-posta: byurekli@eskisehir.edu.tr

meh_songur@yahoo.com

ahmetdabanli@eskisehir.edu.tr

senyel@metu.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8917-6499>ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6722-6678>ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6818-3662>ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9423-6932>

Geliş Tarihi: 03.06.2021

Kabul Tarihi: 14.12.2021

Öz

İçilebilir su miktarının gittikçe azaldığı dünyamızda, su kayıplarını önleme çalışmalarının ne kadar büyük bir öneme sahip olduğunun anlaşıldığı ve bu konudaki farkındalığın her geçen gün arttığı görülmektedir. Su kayıplarının azaltılması noktasında alınması gereken tüm önlemlerin ivedilikle hayata geçirilmesi gerekmektedir. Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi (ASKİ) Genel Müdürlüğü üzerine düşen sorumluluğun bilincinde olarak fiziki su kayıpları önleme birimini oluşturmuş ve çalışmalar başlatılmıştır. Bu makalede fiziki su kayıpları önleme çalışmalarının Merkezi Kontrol ve Veri Toplama (SCADA) sistemi olmaksızın uygulandığı bir Düzenlenmiş Müşteri Alanı (DMA) bölgesinde, bir yıl ara ile yapılan debi ölçümleri sonucunda minimum gece debisinde meydana gelen artış konu edilmiştir. Sonuç olarak kısa vadede fiziki su kayıplarının önlendiği DMA bölgesinde, basınç yönetimi ve uzaktan izleme yapılmaması durumunda şebekede tekrarlanan kayıpların olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler

SCADA; DMA;
Minimum gece debisi;
Fiziki su kaybı

Importance of SCADA in the Prevention of Real Losses in Water Distribution Networks: A Case Study ASKİ

Abstract

In our world, where the amount of potable water is gradually decreasing, it is important to prevent water losses and take relevant measures in this respect. A real water loss prevention unit has been established in Ankara Water and Sewerage Administration (ASKİ). In this article, real water loss prevention studies were performed without Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system, and it was observed that an increase in minimum night flow was observed when working again in the same District Metering Area (DMA) region one year later. As a result, water losses are observed to continue in the DMA region, although the losses were prevented in the short term.

Keywords

SCADA; DMA;
Minimum night flow;
Real water loss

1. Giriş

Su, insan hayatının ve çevresel varoluşun devam edebilmesi için gereken temel kaynakların başında gelir. Hızlı nüfus artışı, küresel iklim değişiklikleri, gelişen sanayi ve teknoloji ile birlikte su ihtiyacı gün geçtikçe artmakta, su kaynaklarının sürdürülebilir ve etkin kullanımı tüm dünyada önem kazanmaktadır. 2050 yılında, küresel su ihtiyacının bugüne oranla yüzde 30 artacağı tahmin edilmekle birlikte (WWF-WRAP 2020), dünya nüfusunun %40'ını barındıran 80 ülke şimdiden su sıkıntısı çekmektedir (GRFC 2020). Sanıldığı gibi Türkiye de su zengini bir ülke durumunda değildir (WWF-Türkiye 2014). Devlet Su İşleri'nin istatistiklerine göre, 2030 yılında 100 milyon nüfusa ulaşacak Türkiye'nin kişi başı yıllık $1.120 m^3$ su tüketim miktarıyla su sıkıntısı çeken bir ülke konumuna geleceği, 2050 ve sonraki yıllarda Türkiye'nin çok ciddi su krizi yaşayacağı tahmin edilmektedir (TİSVA 2019, Aslan 2016). Bu nedenle kısıtlı su kaynaklarının boşa harcanmadan etkin kullanılması ve kullanırılması önem arz etmektedir.

Su kaynaklarının boşa harcanmasına neden olan faktörlerin başında yer alan şebekelerdeki su kayıp ve kaçakları, dünya genelindeki tüm gelişmiş ülkeler gibi ülkemizde de üzerinde önemle durulan araştırma alanlarından biridir (Akıllı ve Özasan 2017). Üretilen ve şebekeye sunulan su miktarı ile abonelerin izinli tükettiği su miktarı arasındaki fark "su kaybı" olarak tanımlanır. Su kayıpları birçok faktöre bağlı olmakla birlikte temelde fiziksel kayıplar ve idari kayıplar olarak ikiye ayrılır (Mastaller and Klingel 2017). İzinsiz su tüketimi, sayaçlardaki ölçüm hataları ve hatalı veri girişleri idari kayıplar arasında yer alırken; temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında oluşan kayıp ve kaçaklar ile depolarda meydana gelen kaçak ve taşmalar fiziki kayıplar arasında yer alır (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017). Fiziki ve idari su kayıplarının, toplam su kayıpları içindeki payları, ülkeden ülkeye farklılık gösterse de genel olarak, toplam su kayıplarının yaklaşık %60'lık kısmı fiziki su kayıpları ve yaklaşık %40'lık kısmı da idari su kayıplarından oluşmaktadır (Dilcan vd. 2018). Türkiye'de de fiziki su kayıpları, idari su kayıplarından daha fazladır (Karakuş vd. 2010).

Günümüzde su kayıplarını azaltmak için aktif ve pasif olmak üzere iki temel yöntem altında değerlendirilebilecek çeşitli yaklaşımlar uygulanmaktadır. Genel olarak; şebekenin sızıntı oranının yüksek olabileceği düşünülen kısımlarının yenilenmesi çalışmaları, şebeke üzerinde modern teknoloji ürünü kaçak tespiti yapabilen cihazlar yardımı ile saha çalışması yapılması ve sayaçların belli periyotlarla hata payı düşük olan elektronik sayaçlarla değiştirilmesi gibi çalışmalar uygulanan aktif yöntemler arasında sıralanabilir (Gerger ve Aslan 2019). Sivas ilinde yapılan bir çalışmada, seçilen iki pilot mahallede kaçak tespit cihazları ile kaçak araması yapılmış ve 7 adet kaçak noktası tespit edilmiştir. Tespit edilen kaçak noktalarının onarımıyla su kaybının çalışma sonucunda yaklaşık %13 civarında azaldığı tespit edilmiştir (Karakuş vd. 2010). Ankara ilinde bir bölgede yapılan benzer bir çalışmada, tespit edilen arızaların giderilmesi ve hatalı okuma yapan sayaçların değiştirilmesi sonucu, kaçak su miktarı $56.5 m^3/saat$ 'den $8.5 m^3/saat$ 'e kadar düşürülmüştür (Merzi vd. 1999). İstanbul ilinde yapılan bir çalışmada ise, bazı ticari işletmelerde, sayaçların hatalı okuma yaptığı veya hiç çalışmadığı tespit edilmiş, ilgili sayaçların değiştirilmesiyle su kayıp miktarında %9,2-%10,2 arasında azalma tespit edilmiştir (Karaca 2009). Her ne kadar aktif kaçak kontrolü ile kaçak miktarı oldukça düşük seviyelere getirilebilse de maliyet açısından düşünüldüğünde aktif yöntemlerin şebekenin tamamına uygulanması neredeyse imkansızdır.

Diğer taraftan şebeke basıncının optimum değerde çalıştırılması, şebekenin izole alt bölgelere ayrılması, şebekenin hidrolik modelinin kurulması, şebekenin sürekli izlenmesi gibi genel olarak şebekenin işletilmesi ile ilgili çalışmalar pasif yöntemler arasında sıralanabilir. Genel olarak, su kayıp kaçaklarının incelenmesi, ölçülebilmesi, tespit edilmesi, sınıflandırılması ve tespit edilen arızaların tamiri sonucunda değişimlerin görülebilmesi için kısaca DMA olarak isimlendirilen izole edilmiş müşteri alanları oluşturulur (Kılıç 2021b). Alanı yaklaşık 500 ile 3000 abone bağlantısı şeklinde boyutlandırılan DMA bölgelerine giren su miktarı, kapsamlı ve entegre bir veri tabanı kontrol ve izleme

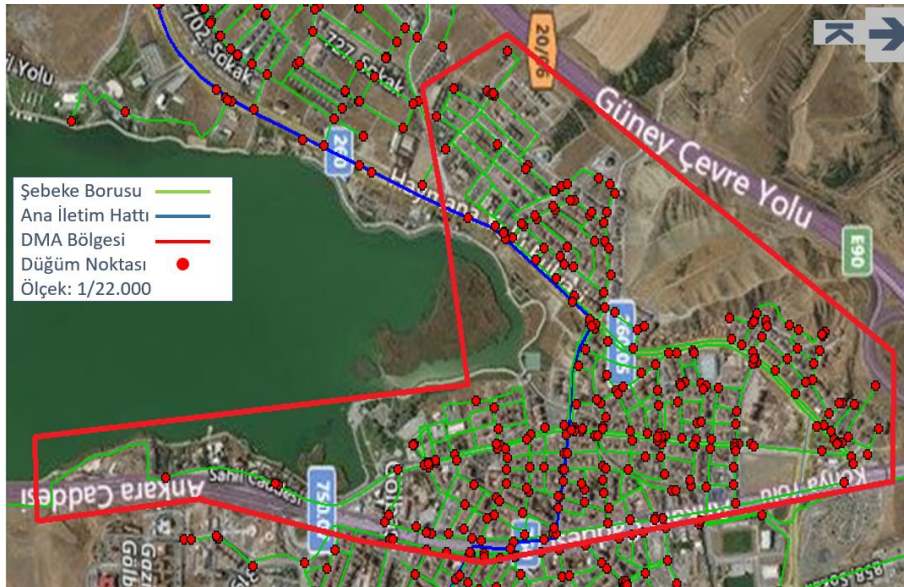
sistemi olan SCADA ya da benzeri bir kayıt sistemi ile ölçülür (Gomes *et al.* 2015). Bölge içindeki tüketim değerleri de abone sayaçlarından okunur. Sisteme belli bir zaman aralığında verilen su ile aynı aralıkta tahakkuk eden su tüketimi arasındaki miktar toplam su kaybını verir. Antalya ili, Konyaaltı ilçesi için yapılan hidrolik model oluşturulması çalışmasında, minimum gece debisinin yüksek olduğu, 8 adet izole alt bölgenin girişine, sabit çıkışlı basınç kırıcı vana yerleştirilmiştir. Sistemlerin optimum basınca ayarlanması sonucu, yaklaşık $45 \text{ m}^3/\text{saat}$ su kazanımı sağlanmıştır (Kara 2011). İzmir ilinde bazı bölgelerde de benzer basınç ayarlaması çalışmaları yürütülmüş, çalışma sınırları içerisinde yer alan Hatay bölgesinde 144 litre/saniye, Karşıyaka bölgesinde ise 33 litre/saniye su kazancı sağlanmıştır (Kabakçı ve Karadoğan 2003). Su kayıplarının tespiti için Şanlıurfa ilinde, su dengesi analizi yapılmış, şebekede meydana gelen kayıpların, istenen seviyelerin çok üzerinde olduğu ve kayıpların büyük bir bölümünün fiziksel kaçaklardan meydana geldiği sonucuna varılmıştır (Gerger ve Aslan 2019). Şanlıurfa ilindeki su kayıplarının azaltılması için basınç yönetimi, izole alt bölge oluşturma, şebeke üzerinde SCADA sisteminin kurulması gibi çalışmaların koordineli bir şekilde yapılmasının gerekliliği ortaya koyulmuştur. Sakarya ili içme suyu şebekesindeki su kayıplarının basınç kontrolü ile azaltılmasının hedeflendiği çalışmada da benzer hususlar vurgulanmıştır (Cinal 2009). Şebekelerdeki

fiziksel su kayıplarını bulmak ve minimum seviyeye indirmek için Coğrafi Bilgi Sistemleri, SCADA ve Abone Bilgi Sistemi teknolojilerinin bütünleşmiş bir şekilde kullanımını içeren bir model geliştirilmesi hedeflenmiş ve geliştirilen model Diyarbakır ilinde uygulanmıştır (Songur 2016).

Yapılan çalışmalar su kayıp ve kaçakları ile mücadelede izole alt bölgelerin oluşturulması (MacDonald and Yates 2005), gelişen kaçak bulma ekipmanları ve SCADA kullanımına odaklanmaktadır (Babunski *et al.* 2018, Kiliç 2021a). Bu çalışmada, Ankara ili Gölbaşı ilçe sınırlarında oluşturulan bir DMA bölgesinde iki farklı periyotta su kayıp ve kaçak çalışmalarının ve SCADA olmadan yapılan iyileştirmelerin, izlenememesi sonucunda kısa bir süre içinde artışının incelenmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında pilot bölge olarak seçilen yerlerden birisi olan Ankara ili Gölbaşı ilçe sınırlarında bir DMA oluşturulmuş ve fiziki kayıpların yıllık kaçınılmaz kayıplara düşürülmesi amaçlanmıştır. Şekil 1'de DMA-1 bölgesi sınır vanaları ile kapalı bölge olarak oluşturulmuş ve sıfır basınç testi yapılarak bölgede içerden dışarıya ve dışardan içeriye su girişine izin verilmemiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi DMA-1 ölçüm odası oluşturulmuş ve taşınır ultrasonik debimetre montajı yapılmıştır.



Şekil 1. Gölbaşı ilçesinde oluşturulan DMA-1 bölgesi



Şekil 2. DMA ölçüm odası oluşturulması ve ultrasonik debimetre montajı.

DMA-1 bölgesi içinde kalan şebeke ve üst yapı bilgileri (boru uzunluğu, boru çapı, vana sayısı, bina sayısı, abone sayısı vb.) ASKİ'nin sahip olduğu ANKABİS ile karşılaştırılarak eksik olan tüm şebeke verileri sahadan tamamlanmış ve dijital ortama aktarılmıştır. Çizelge 1, DMA-1 bölgesinin özelliklerini içermektedir.

DMA-1 bölgesinin izolasyon çalışma testlerinin yapılmasından sonra ultrasonik debimetreden, Şekil 3'te görüldüğü gibi pilot bölge test ölçümü yapılan 01.11.2018 ile 03.11.2018 tarihleri arasında üç günlük debi sonuçları okunmuştur. Minimum gece debisi 20,6 litre/saniye olarak ölçülmüştür. Bu değer Şekil 4'de gösterildiği gibi nüfus, şebeke uzunluğu ve basınca göre hesaplanan minimum gece debisi ile

karşılaştırılmış ve değerin yüksek olduğu bulunmuştur.

Çizelge 1. DMA-1 bölgesi özellikleri.

Değişkenler	Birimi	Değer
Toplam Şebeke Uzunluğu	km	14
Şebeke Ortalama Yaşı	Yıl	25
Toplam Servis Bağlantı Sayısı	Adet	361
Toplam Abone Sayısı	Adet	3.272
Toplam Hizmet Edilen Nüfus	Kişi	13.088
Bölgede Önemli Abonelerin Sayısı	Adet	4
Hizmet Alanı	km ²	0,50
Bölgede Ortalama Basınç	Bar	4
Maksimum Kot	Metre	1124
Minimum Kot	Metre	1082
Bölgede Raporlanan Şebeke Arıza Sayısı	Adet	64
Bölgede Raporlanan Servis Bağlantı	Adet	64
Arıza Sayısı		
Bilinen Vana Sayısı	Adet	49
İzolasyon Vana Sayısı	Adet	3
Servis Bağlantı Toplam Uzunluğu	km	6



Şekil 3. 2018 yılı DMA-1 bölgesi çalışma öncesi debi değerleri ve minimum gece debi miktarı.

Endüstriyel Kullanıcı	N_{IND}	4	kull
Sivil Kullanıcı	N_{CIV}	3272	kull
Toplam Kullanıcı	N_{TOTAL}	3276	kull
Basınç Düzeltme Katsayısı	PCF	0,773	
Ağ Uzunluğu	l	16,00	km
Ortalama Basınç	p	40	m_{H_2O}
Boru Hatları Sızıntı Katsayısı	C_1	20	$l/km/saat$
Konut Bağlantı Sızıntı Katsayısı	C_2	1,50	$l/kull/saat$

ŞEBEKE VERİMLİLİK SEVİYESİ			
KATSAYI	İYİ	ORTA	DÜŞÜK
C_1	20	40	60
C_2	1,5	3	4,5

Kaçınılmaz Kaçak	Q_{LEAK}	4046	$l/saat$
		1,12	$l/saniye$
Antropik Minimum Gece Debisi	Q_{CONS}	6094	$l/saat$
		1,69	$l/saniye$
Minimum Gece Debisi	Q_{MNF}	10140	$l/saat$
		2,82	$l/saniye$

Şekil 4. DMA-1 bölgesinde hesaplanan minimum gece debisi.

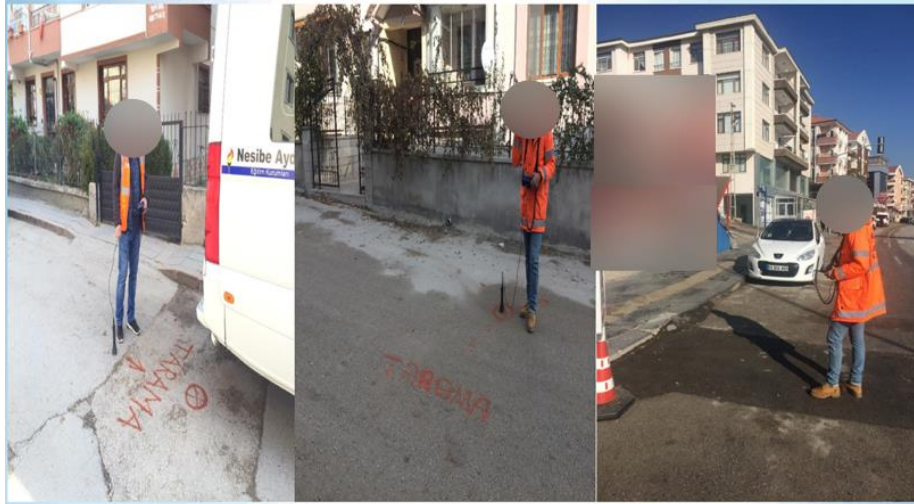
Minimum gece debisi (Q_{MNF}), Denklem (1)'de gösterildiği gibi antropik minimum gece debisi (Q_{CONS}) ile kaçınılmaz sızıntı debisinin (Q_{LEAK}) toplamına eşittir.

$$Q_{MNF} [lt/sa] = Q_{CONS} [lt/sa] + Q_{LEAK} [lt/sa] \quad (1)$$

Antropik minimum gece debisi (Q_{CONS}), sivil ve endüstriyel tüketicilerin kullanım sebebiyle oluşan tüketim miktarıdır. Kişi başına saatlik 1.86 lt olarak hesaplanan veri kullanılmıştır. Kaçınılmaz sızıntı debisi (Q_{LEAK}) ise Denklem (2)'de gösterildiği gibi boru hatları sızıntı düzeltme katsayısının (C_1) şebeke/ağ uzunluğu (l) ile çarpımının, konut bağlantı sızıntı düzeltme katsayısının (C_2) bağlantı sayısı (N) ile çarpımının toplamının basınç düzeltme katsayısı (PCF) ile çarpılmasıyla hesaplanır.

$$Q_{LEAK} = [C_1 \cdot l + C_2 \cdot N] \cdot PCF [lt/sa] \quad (2)$$

Sabit zaman adımlarında kaçak gürültüyü kaydeden şebeke üzerinde akustik kaydedicilerin kullanılması, su dağıtım şebekesinde önemli bir etkiye sahiptir. Su temininin karşı karşıya olduğu en büyük zorluklardan olan yüksek seviyelerde su kaybıyla nasıl başa çıkılmasında akustik araştırma yöntemlerinin artık giderek daha geniş bir fayda yelpazesine sahip olduğu görülmektedir (Angelidis and Stavrotheodorou 2020). Bu yöntem ile şebeke üstünde birden fazla cihaz ile kaydedilen gürültü yoğunluğuna göre şebeke üzerinde enterpolasyon ile yaklaşık kaçak yeri tespit edilir.



Şekil 5. Gürültü kaydedicilerden sonra yer mikrofonu ile şebeke boru üzerinde fiziki kayıp noktası arama.



Şekil 6. Gürültü yoğunluğuna göre muhtemel fiziki kayıpların noktasal yerlerinin haritada gösterimi.

Minimum gece debisinin yüksek olmasından dolayı fiziki kayıpların olduğu tahmin edilmiş ve bölgede çalışma yapılması için fiziki kayıpları önleme birimine iş emri verilmiştir. Fiziki kayıpları önleme birimi ilk olarak, vanalara gürültü kaydediciler (Noise Logger) yerleştirmiş, muhtemel kayıpların olabileceği yüksek gürültüler kaydetmiştir. Bu çalışmaların sonucunda Şekil 5 ve Şekil 6'da görüldüğü gibi 5 adet yüzeye çıkmayan muhtemel fiziki su kayıp yeri tespit edilmiştir

Fiziki kayıpları önleme birimi tarafından yapılan çalışmalar sonucunda bulunan 5 adet fiziki su kayıp noktası Şekil 7'de görüldüğü gibi ASKİ ekipleri tarafından açılmış ve tamamında yüzeye çıkmayan fiziki su kayıp olduğu görülmüş ve onarımı yapılmıştır.



Şekil 7. Tarama sonucu bulunan fiziki su kayıp noktası kazı çalışması sonucu.

5 adet arıza onarımından sonra DMA-1 ölçüm odasına tekrar taşınır debimetre montajı 28.11.2018 tarihinde yapılmış ve Şekil 8'de görüldüğü gibi minimum gece debisinin yaklaşık %50'lik azalma ile 10,2 litre/saniye seviyelerine düştüğü görülmüştür.

Minimum gece debisi 20,6 litre/saniye iken çalışma sonucunda 10,2 litre/saniye düşürülmüş ve 10,4 litre/saniye su kaybı önlenmiştir. Denklem (3)'e göre kazanımlar aşağıdaki gibidir:

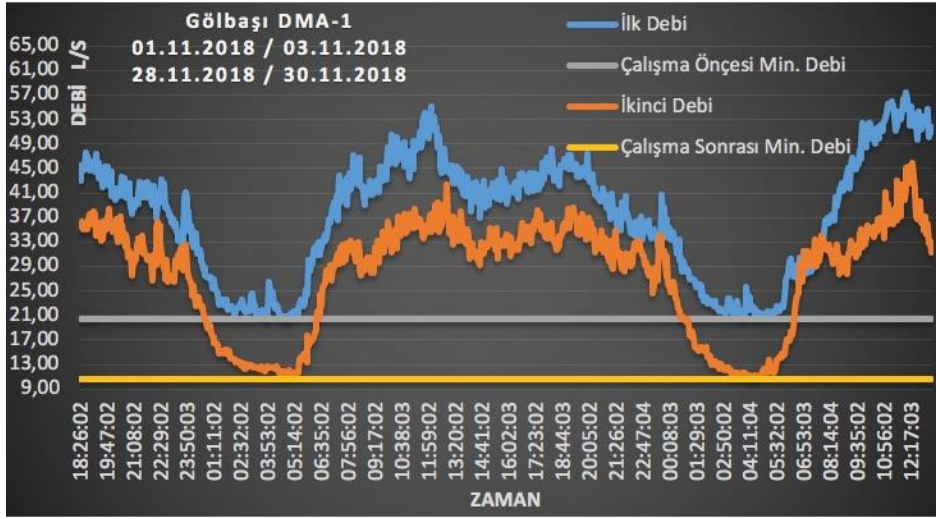
Yıllık Su Kazanım (m³/yıl)

$$\begin{aligned} &= (\text{Son Debi} - \text{İlk Debi}) \text{ lt/s} \\ &\times 86.400 \text{ sn/gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \\ &\times (1 \text{ m}^3/1.000 \text{ lt}) \end{aligned} \quad (3)$$

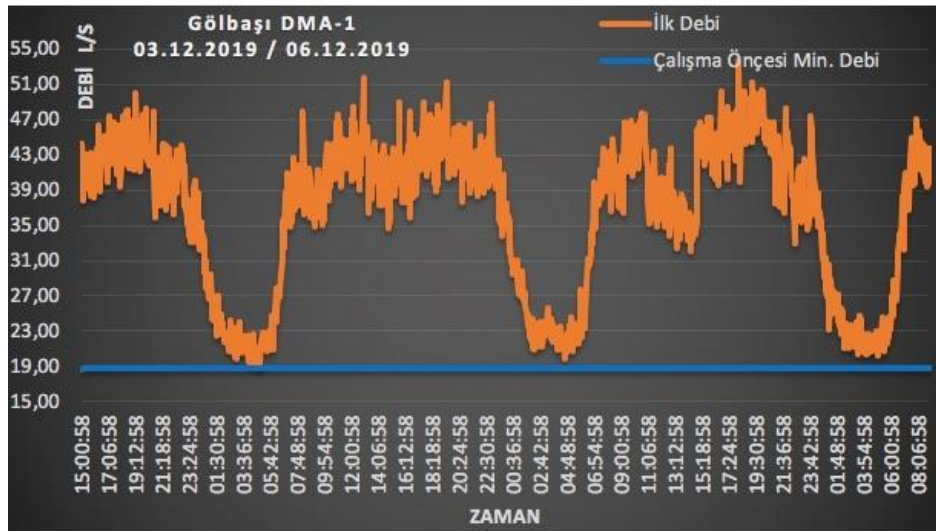
$$10,4 \text{ lt/s} \times 86.400 = 898.560 \text{ lt/gün}$$

$$\begin{aligned} &898,560 \text{ lt/gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \\ &\times (1 \text{ m}^3/1,000 \text{ lt}) \\ &= 327.974,400 \text{ m}^3/\text{yıl} \end{aligned}$$

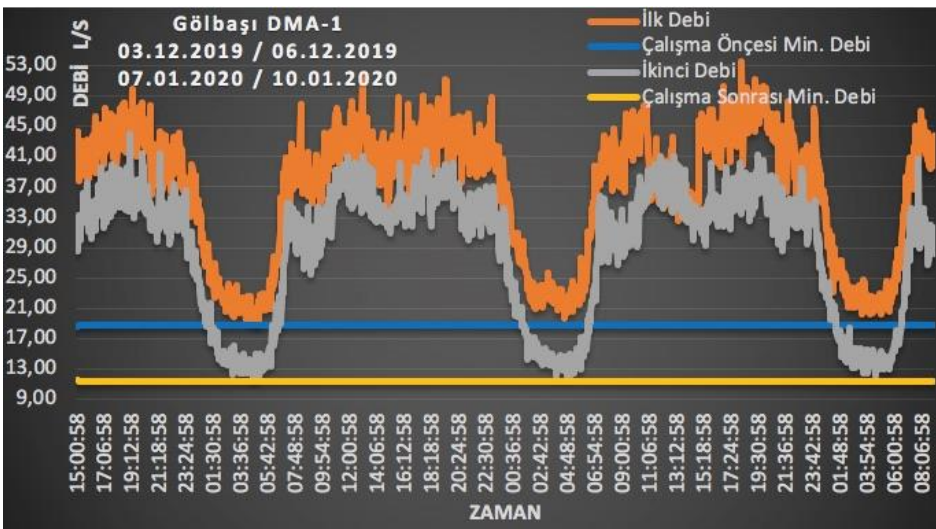
Dolayısıyla 327.974 m³/yıl su kaybı engellenmiştir. Ankara'daki nüfus başına ortalama su tüketimi yaklaşık 110 lt/kişi olarak alındığında 898.560/110 = 8.168 kişinin günlük su tüketiminin engellenen su kaybı ile karşılanabileceği görülmüştür.



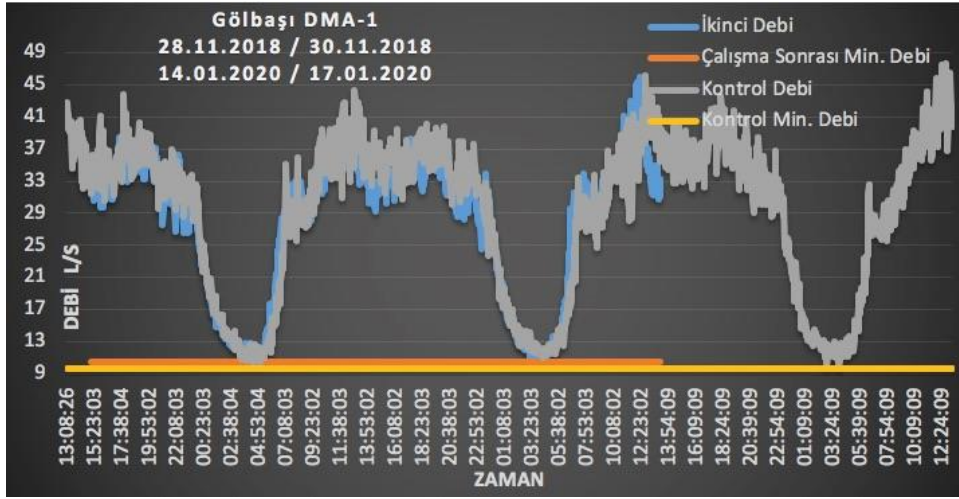
Şekil 8. DMA-1 bölgesinin arıza onarımlarından önceki ve sonraki debi ölçümleri ile minimum debi grafiği.



Şekil 9. DMA-1 bölgesinin 03.12.2019 tarihindeki debi ölçüm sonuçları.



Şekil 10. Arıza onarımlarından sonra DMA-1 bölgesi minimum gece debisi.



Şekil 11. Bir yıl ara ile minimum gece debilerinin karşılaştırılması.

Bu çalışmalar tamamlandıktan sonra DMA-1 bölgesindeki taşınır debimetre sökülüş ve başka DMA bölgelerinde çalışma yapılmaya başlanmıştır, bu nedenle DMA bölgesinden düzenli ölçüm alınmamıştır.

Kontrol amaçlı DMA-1 izole bölgesinde 03.12.2019 tarihinde tekrar ultrasonik taşınır debimetre montajı yapılmış ve debi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Şekil 9'da görüldüğü gibi minimum gece debisinin 10,2 litre/saniyeden 18,85 litre/saniye seviyelerine çıktığı görülmüştür. Tekrar fiziki kayıpları önleme birimi çalışmalara başlamış ve bulmuş olduğu 5 adet su kayıp noktasını onardıktan sonra Şekil 10'da görüldüğü gibi minimum gece debisi 11,62 litre/saniyeye indirilmiştir. Kazanım 7,23 litre/saniyedir.

2018 ve 2019 yıllarındaki çalışmalar sonrası yapılan ölçüm neticesinde, gece debisinin bir yıl önceki değerler ile örtüştüğü görülmüştür. Minimum gece debilerinin bir yıl ara ile karşılaştırılması Şekil 11'de verilmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Su kaynaklarının etkin ve verimli kullanımı tüm dünyada önemi gittikçe artan konulardan biridir. Su kaynaklarının boşa harcanmasına neden olan faktörlerin başında yer alan şebekelerdeki su kayıp ve kaçaklarının azaltılmasına yönelik çalışmalar artsa da henüz yeterli seviyelere ulaşamamıştır.

Bu çalışmada, Ankara ili Gölbaşı ilçe sınırlarında oluşturulan bir DMA bölgesinde su kayıp ve kaçak

çalışmalarında SCADA olmadan yapılan iyileştirmelerin, sürekli ölçüm yapılmadığı durumlarda tekrar ettiği, bir yıl ara ile iki farklı periyotta yapılan ölçümlerle fiziki su kayıplarının tekrar aynı seviyelere yükseldiği gözlemlenmiştir.

Çalışma konusu DMA-1 alanında fiziki su kayıplarının geçmişi bilinmediğinden yeni kaçakların hangi tarihte başladığı da bilinmemektedir. Bu yüzden ilk çalışma ile sonraki çalışma arasında kazanılan suyun toplam miktarı hesaplanamamaktadır.

Bu çalışma göstermiştir ki, DMA-1 bölgesinin anlık ölçümlerini gösteren bir SCADA sistemi olmadığında, tamir edilen kaçaklar ile azaltılan minimum gece debisinin ne zaman arttığı ve yeni kaçaklar oluştuğu bilinmemektedir. SCADA veya benzeri anlık izleme sistemleri kullanılsa, gece debileri sürekli izlenebilecek, yeni oluşan kaçakların fark edilebilmesi ve su kayıplarına anında müdahale edilebilmesi mümkün olacaktır.

Çalışma sonucunda, su kayıplarını sürdürülebilir olarak önlemek için izole edilmiş bir DMA oluşturmanın ötesinde su temininin mutlaka SCADA tarzı bir sistem ile sürekli izlenmesinin ne kadar önemli olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma Prof. Dr. Alper Çabuk yürütücülüğünde yürütülen 119C200 numaralı TÜBİTAK 2244 projesiyle, Başarsoft Bilgi Teknolojileri A.Ş. ile Eskişehir Teknik Üniversitesi arasında sağlanan iş birliği ortamı yardımıyla üretilmiştir. Destek için TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

- Akıllı, H. ve Özasan R.K., 2017. Su Kayıplarının Önlenmesinde Teknoloji Kullanımı: Büyükşehir Belediyelerinde SCADA Uygulaması. *Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22, Kayfor15 Özel Sayısı, 1599-1618.
- Angelidis, K. and Stavrotheodorou, E., 2020. Application of Acoustic Survey Method for Leakage Detection and Reduction in Water Distribution Network of Thessaloniki City, Greece. *Environmental Sciences Proceedings*, 2(1), 69-75.
- Aslan, B., 2016. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerinde Su Kayıp ve Kaçaklarının Tespiti, Uzmanlık Tezi, İller Bankası A.Ş., Ankara, 88.
- Babunski, D., Zaevev, E., Tuneski, A., and Bozovic, D., 2018. Optimization methods for water supply SCADA system. In 2018 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), 1-4, IEEE.
- Cinal, H., 2009. Basınç yönetimi ile içmesuyu şebeke kayıplarının azaltılması: Sakarya örneği, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 88.
- Dilcan Coşkun, Ç., Çapar, G., Korkmaz, A., İritaş, Ö., Karaaslan, Y. ve Selek, B., 2018. İçme Suyu Şebekelerinde Görülen Su Kayıplarının Dünyada ve Ülkemizdeki Durumu. *Anahtar Dergisi*, 354, 10-18.
- Gerger R. ve Aslan A., 2019. "Şanlıurfa İli İçin İçme Suyu Kayıp ve Kaçaklarının Tespiti", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(2), 26-35.
- Gomes, R., Sousa, J., Muranho, J. and Marques, A.S., 2015. Different design criteria for district metered areas in water distribution networks. *Procedia Engineering*, 119, 1221-1230.
- GRFC, 2020. Global Report on Food Crises. 1-240.
- Kabakçı, A. ve Karadoğan, H., 2003. İzmir İçme Suyu Sistemi Kaçak Azaltma Pilot Çalışması. VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir, 8 Eylül.
- Kara, S., 2011. İçme Suyu Dağıtım Şebekelerinde Basınç Yönetimi ve Hidrolik Modellemenin Entegre Edilerek Su Kayıplarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 150.
- Karaca, Z., 2009. İçme Suyu Şebeke Sistemlerinde Su Kayıp ve Kaçaklarının Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 115.
- Karakuş, C.B., Yıldız, S. ve Cerit, O., 2010. Sivas Kent İçme Suyu Şebekesindeki Su Kayıpları ve Kayıp Oranını Azaltma Çalışmaları, *Sivas Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2(2), 1-10.
- Kiliç, R., 2021a. The strategic development for water loss prevention. *Applied Water Science*, 11(2), 1-11.
- Kılıç, R., 2021b. Fiziki Kayıpların Azaltılması İçin İzole Alt Bölgelerin Etkin Yönetimi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 22, 306-315.
- MacDonald, G., and Yates, C.D., 2005. DMA design and implementation, a North American context. In Conference Proceedings, IWA Specialised Conference Leakage 2005", Halifax, Nova Scotia, Canada, 175-182.
- Mastaller, M. and Klingel, P., 2017. Adapting the IWA water balance to intermittent water supply and flat-rate tariffs without customer metering. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 7(3), 396-406.
- Merzi, N., Şendil, U., Yağız, E., Poyraz, S. ve Eker, İ., 1999. Ankara N8 İçme Suyu Şebekesinin Hidrolik Modelinin Kurulması, II. Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu, Adana, 259-270, 18 Kasım.
- Muhammetoğlu, H. ve Muhammetoğlu, A., 2017. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü El Kitabı, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara (Türkiye), 1-164.
- Songur, M., 2016. İçmesuyu şebekelerindeki fiziksel kayıpları önlemeye yönelik Diyarbakır için örnek bir model geliştirilmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 123.
- TİSVA, 2019. Sayılarla İsrar Raporu. Ankara (Türkiye), 1-120.
- WWF-Türkiye, 2014. Türkiye'nin Su Riskleri Raporu. İstanbul (Türkiye), 1-55.

WWF-WRAP, 2020. Halving Food Loss and Waste in the EU by 2030: The major steps needed to accelerate progress. Berlin (Almanya), 1-72.

Katlı Kavşak Düzenleme Önerilerinde Simülasyon Programı Kullanım Sürecinin İrdelenmesi

Burak ŞİŞMAN¹, Gürcan SARISOY², Yavuz DELİCE^{3*}

¹ Yalova Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma ve Lojistik Mühendisliği Programı, Yalova / Türkiye.

² Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, Yalova.

³ Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, Yalova.

e-posta: burak.sisman@outlook.com

e-posta: gurcan.sarisoy@yalova.edu.tr

*Sorumlu yazar e-posta: yavuz.delice@yalova.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5163-8325>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7399-104X>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2646-567X>

Geliş Tarihi: 03.05.2021

Kabul Tarihi: 24.12.2021

Öz

Mikro-simülasyon programları, kavşakta yapılmak istenen düzenlemeleri hayata geçirmeden önce bilgisayar ortamında modelleyerek ve belirli kavşak iyileştirme parametrelerini esas alarak faydaları analiz etmeyi sağlamaktadır. Gelişen teknoloji de kavşak çözümlene ve önerilerinin yapılmasında, mikro-simülasyon programlarının kullanımının pozitif etkisini giderek artırmaktadır. Bu programlar ile mevcut ve düzenleme yapılan duruma ait kavşakların hizmet düzeyleri belirlenerek, analizler yapılmakta ve planlanan düzenlemelerin vereceği sonuçlar kontrol edilebilmektedir. Sonuç çıktıları; hizmet düzeyi, ortalama gecikme, ortalama hız, ortalama kuyruk boyu, yakıt tüketimi ve zararlı gaz salınım miktarı gibi birçok parametreden oluşmaktadır. Bu doğrultuda, kavşak düzenleme önerilerinde her bir sonuç çıktısının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında; Yalova ili Otogar katlı kavşağı üzerinde mevcut durumda yaşanan problemler belirlenmiş ve bu problemlerin çözümünde PTV Vissim mikro-simülasyon programı kullanılarak öneriler sunulmuştur. Yapılan saha sayımları ve gözlemler ile kavşağa ait bilgiler edinilmiş, mevcuttaki trafik sıkışıklığı ve trafik güvenliği problemlerini önleyecek çözümler mikro-simülasyon programı ile bilgisayar ortamında irdelenmiştir. Mevcut durumda yaşanan problemlere ek olarak, kavşak yakınında inşaatı devam eden hastane ve alışveriş merkezi gibi çekim alanları düşünülerek, artması öngörülen taşıt hacminin etkileri de göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmada verilen iki öneriden daha iyi olan seçeneğin mikro-simülasyon sonuçlarına göre; kavşağın hizmet düzeyi F seviyesinden A seviyesine yükselirken, ortalama gecikme süresinde %93, ortalama hız değerinde %173, ortalama kuyruk boyunda %98, yakıt tüketiminde ve zararlı gaz salınımında %65 oranlarında iyileşmeler elde edilmiştir. Ayrıca, mikro-simülasyon programı ile katlı kavşak düzenlenmesi sürecinde geliştirilen iş akış şemasının kullanılması çalışmanın özgün yönlerinden biridir. Katlı kavşaklardaki yapılan iyileştirmelerin, göreceli olarak diğer kavşaklarda yapılan düzenlemelere göre ilgili bölgelere daha çok fayda sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler

Katlı Kavşak;
Simülasyon; Mikro-Simülasyon; Hizmet Düzeyi; Ortalama Gecikme

Investigation of Simulation Program Usage in Interchange Design Alternatives

Abstract

Micro-simulation programs enable to analyze the benefits by modeling in a virtual environment and based on certain intersection improvement parameters before implementing the designs to be made at the intersection. The developing technology also gradually increases the positive effect of the usage of micro-simulation programs in making intersection analysis and design alternatives. With these programs, the service levels of the current and designed intersections are determined and analyzed. Thus, the results of the planned designs can be controlled. Result outputs, it consists of many parameters such as service level, average delay, average speed, average queue length, the amount of fuel consumption and harmful gas emissions. Accordingly, it is aimed to improve each result output in the intersection design alternatives. Within the scope of the study, the current problems on the Yalova

Keywords

Interchange;
Simulation; Micro-Simulation; Level of Service; Average Delay

City Bus Terminal Interchange were determined. Designs were presented to solve these problems by using PTV Vissim micro-simulation program. Data about the interchange were obtained through field counts and observations. Solutions to prevent current traffic congestion and traffic safety problems were examined in a virtual environment with a micro-simulation program. In addition to the current problems, the effects of the foreseen increase in vehicle volume were also considered, considering the attraction areas such as hospitals and shopping centers that are under construction near the interchange. According to the micro-simulation results of the option that is better than the two alternatives given the research, while the service level of the intersection increased from F to A, improvements were achieved by 93% in average delay time, 173% in average speed, 98% in average queue length, and 65% in fuel consumption and harmful gas emissions. In addition, the usage of the workflow diagram developed in the process of designing interchanges with the micro-simulation program is one of the original aspects of the study. It is foreseen that the improvements made in the interchanges will provide more benefits to the regions compared to the designs made in other intersections.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Kentlerdeki nüfus artışı, iş ve yerleşim alanlarının çoğalmasına, buna bağlı olarak yolculukların artmasına ve yol ağlarının genişlemesine neden olmaktadır. Bunların neticesinde bazı kavşaklarda trafik sorunları meydana gelebilmektedir. Kavşak çevresinde çekim merkezlerinin olması, kavşaklardaki trafik ve güvenlik sorunlarını da giderek artırmaktadır. Bu kavşaklardaki problemlerin çözümünde mikro-simülasyon programlarının kullanılması, düzenleme önerilerinin yapılmasında en uygun ve en doğru sonuçların elde edilmesinde kritik rol oynamaktadır. Bu sayede kavşağın mevcut durumu bilgisayar ortamında incelenmekte ve düzenleme önerilerinin geliştirilme süreci daha verimli hale gelmektedir.

Eşdüzey kavşaklar ile sağlanamayan yüksek kapasiteli ve kesintisiz akım geçişleri, katlı kavşaklar ile sağlanabilmektedir. Katlı kavşaklar, eşdüzey kavşaklara göre taşıt geçişlerinin daha kontrollü ve sistemli şekilde yapıldığı karayolu unsurlarıdır. Bu kavşakların amaçları arasında; trafik güvenliğinin artırılması ve taşıt geçişlerinin kontrollü şekilde yapılarak birbirini etkilememesi bulunmaktadır. Katlı kavşaklar şehir merkezlerine göre daha çok kırsal kesimlerde iyi bir hizmet vermektedir. Bunun en büyük sebebi olarak şehir merkezlerinde yeterli kavşak alanının bulunmaması ve buna bağlı olarak da bağlantı yollarının trafik güvenliğini tehlikeye sokabilmesidir. Aynı zamanda yaya geçitleri anlamında da oldukça güven problemi arz eden bu kavşak türleri şehir dışı bağlantı yollarında tercih edilip uzun yıllar hizmet verebilmektedir (Namlı

2015). Ayrıca yeni yerleşim yerlerinin planlanması yapılırken mutlaka ileriye dönük trafik tahminleri yapılarak tasarlanan katlı kavşakların performans değerlendirmeleri incelenmelidir.

Katlı kavşaklar için oluşturulan simülasyonlar, eşdüzey kavşaklara göre daha kapsamlıdır. Sürücü taleplerinin rahatlıkla karşılanabilmesi ve anayol akımının kesintiye uğramaması için katlı kavşaklar tercih edilebilmektedir. Eşdüzey kavşaklara göre yüksek taşıt hacmine sahip katlı kavşak simülasyonlarında elde edilen sonuçların iyileştirilmesi bölgeye önemli katkılar sunmaktadır. Bu yüzden, bu kavşakların planlanması yapılırken trafik simülasyon çözümleri üzerinde daha fazla durulmuş ve çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda katlı kavşakların performans çıktıları arasında; hizmet düzeyi, ortalama gecikme, ortalama hız, ortalama kuyruk boyu, yakıt tüketimi ve zararlı gaz salınım miktarı gibi parametreler bulunmaktadır. Taşıt geçişlerinin kontrollü şekilde sağlandığı bu kavşaklarda; gecikme süresinin, kuyruk boyunun ve ortalama durma sayısının düşmesi, ortalama hız değerinin ise artması beklenmektedir. Transit geçişlerin simülasyonda yer alması da kavşağı kullanan toplam taşıt hacmini yükseltmektedir. Bu durum, yakıt sarfiyat değerlerinde ve toplam seyahat süresinde artışa neden olmaktadır.

Simülasyon tekniği, ulaşım planlaması ve kavşak düzenlemesinde etkin şekilde kullanılmaktadır. Bu teknik, kavşak düzenleme önerileri için test niteliği taşımaktadır. Bu sayede sunulan öneriler içerisinde

en uygunu tespit edilerek gerekli projelendirmeler yapılabilmektedir.

Çalışmada, mikro-simülasyon programı ile katlı kavşak düzenlenmesi süreci için bir iş akış şeması önerilmiş ve tasarım süreci bu şemaya göre gerçekleştirilmiştir. İş akış şemasının test edilmesi için belirlenen Yalova Otogar katlı kavşağı geometrik olarak diamond (elmas) kavşak yapısındadır. Bu kavşak modelinde katılım, ayırım ve kesişim noktalarının olması taşıt geçişlerinde gecikmeleri ve kavşağın tasarım kriterlerine göre güvenlik problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Öneri geliştirme sürecinde, video çekimler kullanılarak zirve saat taşıt hacim değerleri hesaplanmış ve mevcut durumdaki güvenlik problemleri saptanmıştır. Sonrasında, yapılması devam eden ya da planlanan çekim merkezlerinin de trafik etkisi dikkate alınarak her bir akım koluna ait taşıt hacimleri PTV Vissim mikro-simülasyon programına girilmiş ve kavşağın mevcut durumu analiz edilmiştir. Mevcut durumda gözlemlenen problemler simülasyon üzerinde de görülmüş, bu problemlerin çözümü adına araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Kavşakta yaşanan problemlerin çözümü için farklı türdeki katlı kavşak yapıları öneri olarak sunulmuş, mikro-simülasyon programı ile bu öneriler irdelenmiş ve en uygun olan öneri belirlenmiştir.

1.1 Literatür Araştırması

Kavşak düzenlemesi üzerine mikro-simülasyon programları kullanılarak mevcut durum analizleri ile öneriler geliştirilmesi kapsamında birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede, literatürde yer alan çalışmalar kronolojik sıraya göre verilmiştir.

2005 yılında İstanbul ili, Kadıköy ilçesi Altunizade Kavşağı'nda gerçekleştirilen çalışmada, trafik problemlerinin çözümünde kent içi ve kent dışı alanlarda karayollarının kesişme şekillerine göre; yüksek güvenli ve trafik kapasitesine sahip kavşak sistemleri ile bağlantı yolları incelenmiştir. Bağlantı kollarından bu kavşağa geçiş yapmak isteyen taşıtlar, 15 Temmuz Şehitler Köprüsü'nü kullanmak isteyenler için trafik sıkışıklığına neden olmaktadır. Çevrede bulunan alışveriş merkezi de bu kavşağın talep edilmesine yol açmaktadır. Çevresel etkenlerden ve çekim merkezlerinden dolayı kavşak

tasarımının değiştirilmesi planlanmıştır. Bu tasarımların belirlenmesinde; mevcut arazi kullanımının, yol ağının incelenmesinin ve yapılan sayım sonuçlarının etkili olduğu belirtilmiştir. Sorunların çözümüne yönelik kavşak ve bağlantı yollarının düzenlenmesi yapılmış olup, belirtilen bölgeyi kapsayacak bir kavşak tasarımı hazırlanmıştır. Bu sayede trafik yoğunluğunun azaltılması hedeflenmiştir. İlk olarak yonca kavşak yapısı uygun olarak görülmüş, fakat arazi koşullarının elverişli olmaması nedeniyle tasarımın yarım yonca kavşak yapısı ile değiştirilmesine karar verilmiştir (Tunalıoğlu 2005). Yapılan bu çalışmada yüksek taşıt hacmine bağlı olarak kavşağın geometrisinde düzenlemeler yapıldığı görülmüştür.

2010 yılında İstanbul ili, Üsküdar ilçesinde yapılan çalışmada Nuhkuyusu Caddesi üzerindeki kavşaklar incelenmiştir. Bu cadde üzerinde yer alan 9 kavşak için Synchro ve Sim Traffic programları kullanılarak mevcut durum analizleri yapılmış ve 2 farklı senaryo çerçevesinde çözüm önerileri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu öneriler sayesinde hizmet seviyesi F olan bir kavşağın sinyal optimizasyonu ile C seviyesine, aynı kavşağın geometrik düzenleme ile B hizmet seviyesine yükseldiği görülmüştür. Ortalama gecikme süresinde %60 oranında iyileşme olmuştur. Eşdüze 9 kavşak için mikro-simülasyon çıktılarına göre uygun öneriler seçilerek fayda-maliyet analizleri yapılmıştır (Ocakdan 2010).

2010 yılında yapılan çalışmada şehir içi sinyalizasyon olmayan kavşaklarda meydana gelen kazaların nedenleri araştırılmıştır. İnsan unsuru ve araç unsuru dışındaki yol ve çevre unsurları, özellikle kavşak geometrik yapısının kazalar üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yapılan incelemelerde kavşak geometrilerinin neden olduğu kazalarda; kavşağın kol sayısı, kavşak kolları arasındaki yatay açı, görüş uzunluğu ve görüş engelleri, ayırma adaları, sola ve sağa dönüş şeritlerinde var olan yol tasarım problemlerinden söz edilmiştir. Bu çalışma ile şehir içi sinyalizasyon olmayan kavşaklarda güvenlik analizi yapılmış ve ilgili eksikliklerin giderilmesi amaçlanmıştır (Saplıoğlu ve Karşahin 2010). Kavşak tasarımları yapılırken yaya ve sürücü güvenliği ön planda tutularak çözümler üretilmelidir. Güvenlik problemi

yaşanan kavşaklar üzerinde yapılabilecek geometrik düzenlemeler ile bu güvenlik sorunlarının önüne geçilmesi mümkündür.

2016 yılında Erzurum ilinde yapılan çalışma kapsamında, Atatürk Üniversitesi kampüsündeki en yoğun trafik hacmine sahip ve yıllık ortalama 15 kazanın olduğu Teknokent kavşağı incelenmiştir. Sahadan elde edilen taşıt verileri kullanılarak kavşağın simülasyonu PTV Vissim programı ile yapılmıştır. Kavşak için sinyal programları ve geometrik düzenlemeler önerilmiş ve uygulanmıştır. Yapılan çalışmadan itibaren bir buçuk yıl süreyle kavşakta trafik kazası meydana gelmemiştir (Bayrak vd. 2016).

2016 yılında Hindistan'ın Bangalore bölgesinde Vijayanagar ve Attiguppe kavşaklarında inceleme yapılmıştır. Video kameralar yardımıyla yapılan çekimler ile taşıt hacimleri elde edilmiştir. Kavşaklardaki sinyal süreleri ve taşıt hacimleri veri olarak PTV Vissim simülasyon programına girilmiştir. Geliştirilen kavşak önerilerinde maksimum kuyruk boylarının sonuçları karşılaştırılmıştır. Buna göre, Vijayanagar kavşağında kuyruk boyu %76 oranında azaltılmıştır (Jagali and Kadam 2016).

2017 yılında Almanya'nın Bavyera eyaletinde bir otoyol üzerinde yapılan çalışmada, toplanan taşıt verileriyle beraber üç saatlik bir mikro-simülasyon analizi yapılmıştır. Yapılan bu analizin kalibrasyonu için taşıtların seyahat süreleri göz önünde bulundurulmuştur. PTV Vissim mikro-simülasyon programında yapılan bu analizde 500 bağlantı, 113 düğüm ve 1820 başlangıç-bitiş elemanı kullanılmıştır. Model için önerilen kalibrasyon ve doğrulama yöntemlerinin otomobil ve ağır taşıtlar için %97 oranına yaklaştığı görülmüştür (Karakikesa *et al.* 2017).

2018 yılında Denizli ili, Emniyet kavşağında yapılan çalışmada kent içi ulaşım ağlarında sıklıkla kullanılan ışıklı ve modern dönel kavşakların performansları PTV Vissim programı ile incelenmiştir. Performans iyileştirmesi amacıyla öncelikle kavşağa ait mevcut ışık süreleri TRANSYT-7F programında en optimum seviyeye getirilmiş, sonrasında ise mevcut faz planı değiştirilerek elde edilen parametre değerleri karşılaştırılmıştır. Emniyet kavşağı modern dönel

kavşak olarak değiştirilerek simülasyonu yapılmış ve performans parametre değerleri belirlenmiştir. Halihazırda modern dönel kavşak olarak hizmet veren Albayrak kavşağının mikro-simülasyon programındaki analizinde sürücü davranışlarını temsil eden parametre değerlerinin en uygun değerlerini belirleyebilmek amacıyla iki seviyeli bir çözüm algoritması geliştirilmiş ve kalibrasyonu yapılmıştır. Albayrak kavşağının da simülasyonu yapılmış, ayrıca söz konusu kavşak ışıklı kavşak olarak mikro-simülasyon programında modellenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Modern dönel kavşakların trafik hacminin belli değerlerine kadar gecikme ve hız parametreleri açısından ışıklı kavşaklara oranla performansının daha iyi olduğu görülmüştür (Erol 2018).

2018 yılında Erzurum ilinde gerçekleştirilen çalışmada Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü tarafından Erzurum-Bingöl devlet yolu üzerinde ve Atatürk Üniversitesi kampüsünü bu yola bağlayan yol kesimi üzerinde yapılması planlanan kavşağın çevre ve bölge trafiğine etkisi araştırılmıştır. Erzurum ilinde TÜİK verilerine göre taşıt sayısındaki mevsimsel artış %18 olup bu sayı her yıl artmaktadır. Buna karşın mevcut yolların kapasiteleri sabit kalmaktadır. Bu durum, yolların yetersiz kalmasına neden olmakta, trafik yoğunluğunun artması ile seyahat süresi, gecikme ve egzoz emisyonlarının artmasını da beraberinde getirmektedir. Toplanan taşıt verileri ile mevcut ve öneri durum, PTV Vissim mikro-simülasyon programı ile modellenmiş ve seyahat süresi, gecikme, kuyruk uzunlukları ile CO, NOx, VOC ve yakıt tüketimleri karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, seyahat süresi ve gecikmelerde %35, kuyruk uzunluklarında %83, egzoz emisyonlarında ise yaklaşık %23'e varan oranlarda azalma gözlenmiştir (Bayata ve Bayrak 2018).

2019 yılında Kocaeli ili, Gölcük ilçesi, D-130 karayolunda, Karaağaç caddesi yakınlarında bulunan üst geçitten başlayarak yaklaşık 3,8 km devam ederek Kazım Karabekir caddesi hizasında son bulan bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı içerisinde 4 sinyalize kavşak bulunmaktadır. Koridor üzerinde yaşanan trafik sıkışıklığı PTV Vissim mikro-simülasyon programı ile analiz edilmiştir. Mevcut

trafik sayımları ile koridor boyunca mikro-simülasyon modeli oluşturulmuş, mevcut duruma ait sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen öneriler için aynı trafik hacimleri kullanılarak simülasyonlar yapılmış ve performans sonuçları alınmıştır. Buna göre, ortalama gecikmede %53, ortalama hızda %45 oranında bir iyileşme gözlenmiştir (İlcalı ve Saraç 2019).

2019 yılında Sakarya ili, Serdivan ilçesinde yapılan çalışmada taşıtların yoğun olduğu kavşaklar seçilmiştir. Sapak Cami kavşağı ve D-100 Dört yol Sanayi kavşağı üzerinde analizlerde bulunulmuştur. Kavşak sayımları gerçekleştirilerek kavşak kollarındaki taşıt hacimleri tespit edilip PTV Vissim mikro-simülasyon programında belirlenen kavşaklara aktarılmıştır. Kavşaklar ile ilgili senaryolar geliştirilmiş ve bu senaryolar üzerine analizler yapılmıştır. İncelenen bir dönel kavşağın bölgedeki önemli merkezleri birbirine bağlaması ve ilerleyen dönemlerde yakınına yapılacak alışveriş merkezi inşaatıyla daha da talep alacağı öngörülmektedir. Yapılan çalışma içerisinde çekim merkezlerinin o bölgedeki trafiğe etkisi de incelenmiştir. Bu merkezlerin oluşturduğu ve gelecekte oluşturacağı etki için taşıt hacmi %30 oranında artırılmış ve simülasyonlar oluşturulmuştur. Böylece gelecekte kavşakta yaşanabilecek problemler ile ilgili çıktılar elde edilerek, bu çıktılar üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılmıştır (Camcı 2019).

2019 yılında Amerika'nın Batı Virginia eyaletinin Morgantown şehrinde West Virginia Üniversitesi kavşağında yapılan bir araştırmada, kentin önemli bir arterinde yer alan yaya geçidi üzerinde; yaya güvenliğinin yanı sıra en büyük sorunun trafik sıklığı olduğu belirtilmiştir. Bu araştırmada kullanılan PTV Vissim mikro-simülasyon programı ile geometrik düzenlemeler yapılarak trafik sıklığını gidermede yapılabilecek iyileştirmeler değerlendirilmiştir. Bu iyileştirmeler yapıldığında simülasyon sonuçlarına göre; ortalama seyahat süresinin %50'ye kadar, ortalama gecikmelerin %66'ya kadar iyileştirildiği görülmüştür (Frosch *et al.* 2019).

2020 yılında Endonezya, Batı Java, Bandung'da bulunan Pasteur bölgesindeki karayolu ağında bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın nedeni

olarak bölgede yaşanan yoğun trafik sıklığı gösterilmektedir. Bu trafik sıklığının mevcut trafik performansının değerlendirilmesinde mikro-simülasyon programı kullanılmıştır. Bu bölgede trafik sıklığını azaltmak için karayolu ağı üzerinde önerilerde bulunulmuştur. Karayolu ağındaki önerilerin performansını değerlendirmek için PTV Vissim mikro-simülasyon programı kullanılmıştır. Mevcut ve öneri kavşaklar arasında karşılaştırma yapmak için ortalama seyahat süresi, ortalama seyahat hızı ve maksimum kuyruk uzunluğu göstergeleri irdelenmiştir. Ortalama seyahat süresi incelendiğinde, %47 oranında iyileştirme olduğu görülmektedir. Ortalama seyahat hızı incelendiğinde ise bazı yol kesimlerinde %300 iyileştirme, bazılarında ise %30 iyileştirme sağlanmıştır. Maksimum kuyruk uzunluğunda %80 iyileştirmelerin olduğu sonucuna varılmıştır. Buna göre, mikro-simülasyon sonucunda elde edilen veriler ile karayolu ağındaki önerilerin trafik durumunu iyileştirebileceği görülmektedir (Utomo *et al.* 2020).

2020 yılında Erzurum ili, Tebriz Kapı kavşağında yapılan çalışmada mikro-simülasyon programı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kavşakta gecikme sürelerinin azaltılması ve kavşağın performansının artırılması amaçlanmıştır. Trafik sayımları sonucu elde edilen veriler mikro-simülasyon programı olan AIMSUN programına girilerek mevcut durum modellenmiş ve ortalama gecikme süreleri saptanmıştır. Mevcut durumdaki sorunlara çözüm önerisi olarak kavşak türünün değiştiği 2 farklı senaryo sunulmuştur. İlk senaryo olan modern dönel kavşak tasarımı AIMSUN programında modellenmiş ve analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre kavşaktaki ortalama gecikme süresinde %78'e varan bir azalma görülmüştür. İkinci senaryo olarak farklı düzey kavşak önerisi sunulmuş ve AIMSUN programında modellenerek sonuçlar analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre ortalama gecikme süresinde %87 oranında bir iyileşme görülmüştür. Bu sonuçlara göre farklı düzey kavşaklarda daha iyi bir sonuç alınmış, fakat farklı düzey kavşak tasarımının maliyeti yüksek olması sebebiyle dönel ada tasarımı tavsiye edilmiştir (Baş vd. 2020).

2020 yılında Çin’de, Weibin ve Fengcheng caddelerinin kesişiminde iki farklı kavşakta yapılan çalışmada şehir içi yollardaki trafik sıkışıklığını incelemek amaçlanmıştır. Toplanan veriler ile PTV Vissim mikro-simülasyon programında mevcut durum analizleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut duruma ait maksimum kuyruk uzunluğu ve ortalama durma süresi gibi çıktılar elde edilmiştir. Mikro-simülasyon çalışmasının kavşak optimizasyonu için etkili bir yöntem olduğu sunulmuştur (Kaixi and Meiqi 2020).

2020 yılında Hindistan’da yapılan araştırmada PTV Vissim mikro-simülasyon programı ile kentlerde yaşanan trafik sıkışıklığının çözümü konusu ele alınmıştır. Artan nüfus ve gelişen şehirler ile şehir içi trafik sıkışıklığı ciddi bir sorun haline gelmektedir. Trafik sıkışıklığı çözümünde yolların ve kavşakların genişletilmesi ya da sinyalizasyon ile yönetilmesi sağlanmaktadır. Mikro-simülasyon programları ile trafik tıkanıklık analizleri yapılabilmektedir. Mikro-simülasyon programında yapılan analizlerle trafik sıkışıklığını azaltmak için uygun öneriler sunulabilmektedir. Mikro-simülasyonlarda temel amaç, çalışma alanını incelemek ve bunun bir modelini hazırlamaktır. Bu araştırmada yol hacminin trafik yönüne göre etkilenme düzeyi irdelenmiştir. Elde edilen güncel veriler ile modelden elde edilen veriler karşılaştırılmış, trafik sıkışıklığının nedenleri belirlenerek sorunların çözümleri için gerekli öneriler ortaya konmuştur (Kumar 2020).

2. Materyal ve Metot

Bu bölüm üç başlıkta incelenmiş olup; çalışmada kullanılan programlara yönelik bilgiler, süreç önerisi ve çalışmanın gerçekleştirildiği kavşağa ait bilgiler detaylıca verilmiştir.

2.1 Kullanılan Programlara Ait Bilgiler

Kavşağın mevcut durum ve düzenleme önerilerinin modellenmesi ve analizinde PTV Vissim mikro-simülasyon programı v10 sürümü kullanılmıştır. AutoCAD 2020 programı ile kavşağın öneri geometrik düzenlemeleri çizilmiştir. Ayrıca Autocad 2020 programının eklentisi olan ‘Vehicle Tracking’ ile kavşak içi taşıt dönüşlerinin uygunluğu kontrol edilmiştir.

2.2 Süreç Önerisi

Katlı kavşak öneri projesi geliştirme sürecinin 5 adımdan oluştuğu kabul edilmiş ve bu adımlar Şekil 1’de görülen iş akış şemasında verilerek ayrıntılı şekilde anlatılmıştır.

- *Mevcut durum ve trafik sayım verilerinin toplanması:* Mikro-simülasyon programları ile mevcut durumda toplanan veriler sanal ortama aktarılarak gerçeği en iyi derecede yansıtan modeller oluşturulabilmektedir. Bir kavşağın analizi ve düzenlenmesinde kullanılan veriler ilgili idareden ve sahada yapılan çalışmalardan elde edilmektedir. Trafik sayımlarını elde etmek amacıyla saha çalışmalarında video kamera tekniği ile gün içerisinde ilgili kavşak için belirlenen zaman dilimlerinde kayıtlar alınmaktadır. Kavşak fiziki yapısına göre kavşağın tüm kollarını görebilmesi amacıyla kamera çekimi öncesi kavşağın analizi yapılarak, kamera veya kameraların kurulması gereken yerler saptanmaktadır. Kamera ile gerçekleştirilen trafik çekimleri ofis ortamında sayılarak veri setleri elde edilmektedir. Bu sayımlar gerçekleştirilirken; taşıtların sınıflarına ve 15 dakikalık periyotlar halinde sayıma dikkat edilmektedir. Böylece ilgili kavşağı yoğunlukla tercih eden taşıt türlerine ve zirve saat değerlerine daha rahat şekilde ulaşılmaktadır.
- *Mevcut durumdaki sorunların tespiti:* Saha çalışması veya ofis ortamında gerçekleştirilen sayımlar esnasında gözlemlenen kavşağın mevcut durumundaki sorunlar tespit edilerek bu sorunların çözülmesi üzerine çalışmalar yapılmalıdır. Kavşağın geometrik tasarımı ile ilgili ortaya çıkan sorunların yanında, kavşağın yüksek taşıt hacmine sahip olması ve yol hacminin bu kapasiteyi kaldırmaması bazı güvenlik zafiyetlerini ortaya koyabilmektedir. Yapılan gözlemler ile kavşak içerisindeki kesişme noktaları özellikle incelenmeli ve bu kesişme noktalarının nasıl ortadan kaldırılabilirliği ya da daha güvenli taşıt geçişlerinin nasıl sağlanabileceği üzerine çalışmalar yapılmalıdır.
- *Mevcut durumun mikro-simülasyon programında modellenmesi, kalibrasyonu ve*

sonuçların elde edilmesi: Hesaplanan zirve saat değerleri simülasyonda kullanılmaktadır. Model içerisine girilen zirve saat değerlerinin mevcut durumdaki taşıt yoğunluğunu doğrular ve planlanan çekim merkezlerinin yaratacağı ek trafiği yansıtır nitelikte olması gerekmektedir. Mevcut durum kalibrasyonu için birçok yöntemden faydalanılmaktadır. Bu yöntemlerden Geoffrey E. Havers istatistiği (GEH) ile simülasyon içerisindeki her bir akım kolundan geçen taşıt hacimleri ile sahada gözlemlenen taşıt hacimleri kullanılarak GEH değeri hesaplanmaktadır (Baş vd. 2020). Elde edilen bu değer ile oluşturulan mevcut durum simülasyonunun kalibrasyonu kontrol edilerek tamamlanmaktadır. Mevcut durum analizinin doğru şekilde yapılması gerçek durum ile simülasyonun benzer yapıda olmasına bağlıdır. Yapılan analizler ile simülasyon sonucunda ortalama gecikme, durma, hız, kuyruk boyu, zararlı gazların emisyonu ve yakıt tüketimi gibi parametreler elde edilerek gecikme süresine bağlı olarak kavşağın mevcut durumdaki hizmet düzeyi belirlenmektedir.

- *Tespit edilen sorunlara yönelik çözüm önerilerinin oluşturulması:* Mevcut durumda tespit edilen sorunların ortadan kaldırılması amacıyla geliştirilen öneriler ile kavşağın performansı ve hizmet düzeyi arttırılabilmektedir. Düzenlemeler kavşağın geometrisinde; halihazır haritalar ve çevresel etkenler dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu düzenlemeler kavşağı yoğun olarak tercih eden taşıt türlerine göre ilgili standartlara uygun olarak yapılmalıdır. Öneri olarak geliştirilen geometrik düzenlemeler çizilerek PTV Vissim mikro-simülasyon programına altlık olarak atılabilmektedir. AutoCAD programında çizilen geometrik kavşak tasarımları, kavşağı kullanan ve tasarımı etkileyen taşıta göre yine AutoCAD programın eklentisi olan 'Vehicle Tracking' içerisinde kontrol edilip, geometrik açıdan uygunluğu test edilebilmektedir. Altlık olarak mikro-simülasyon programına aktarılan bu düzenlemeler yine elde edilen taşıt verileri ile simülasyonu yapılarak simülasyon sonucunda,

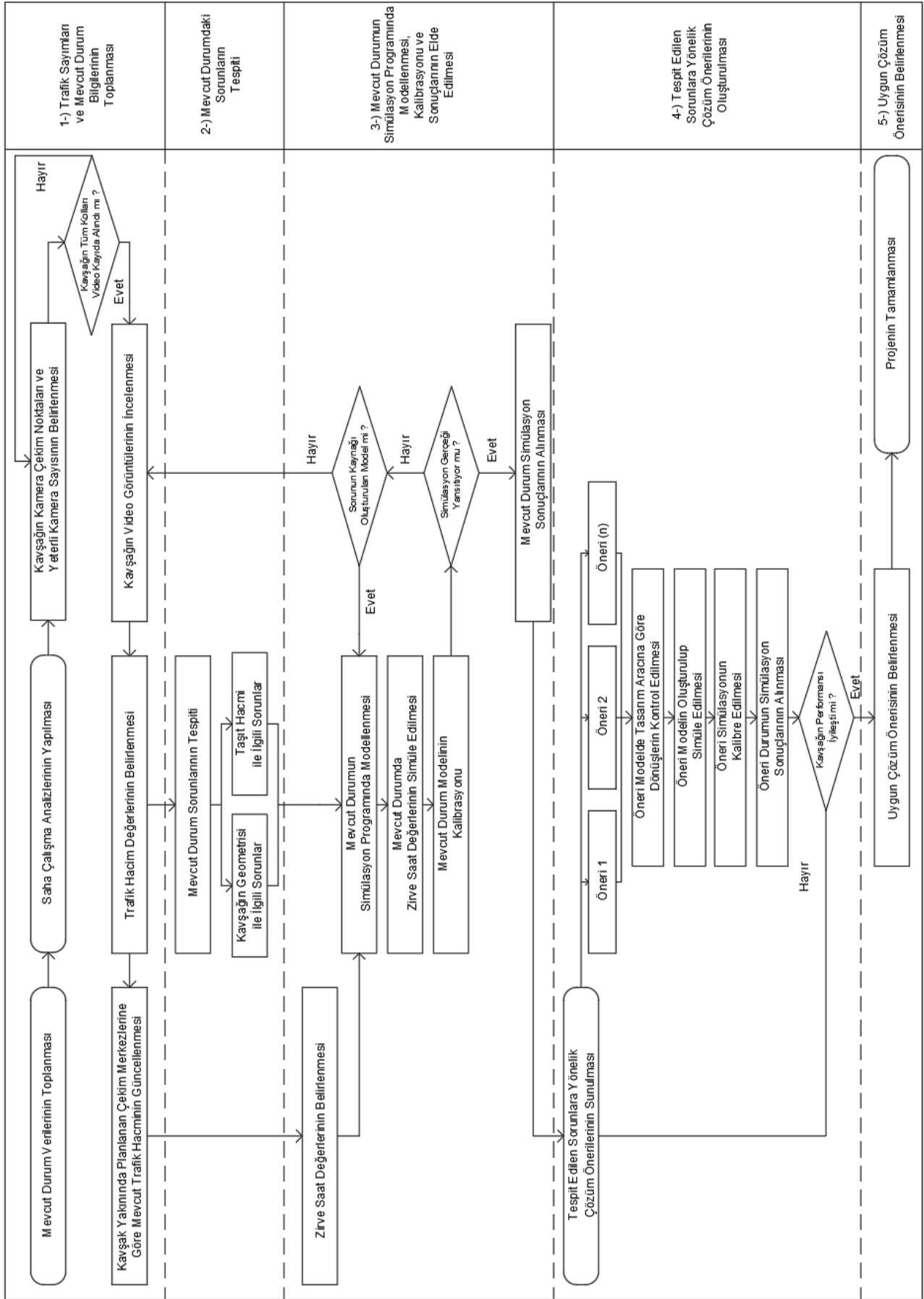
bir önceki adımda belirtilen kavşak performans parametreleri elde edilmektedir.

- *Uygun çözüm önerisinin belirlenmesi:* Geliştirilen önerilerin mevcut durum ile kıyaslanmasının yanı sıra kendi aralarında da kavşak performans parametreleri ve kavşağın hizmet düzeyi dikkate alınarak karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmalar ile en uygun çözüm önerisi belirlenmektedir. Belirlenen çözüm önerisinin uygun maliyetli ve çevreci bir seçim olması oldukça önemlidir.

2.3 Kavşağa Ait Bilgiler

Katlı kavşaklar için önerilen iş akış şemasının Yalova ilinde denemesi için ilk olarak kavşak seçimi yapılmıştır. Belirlenen kavşağın kuzeyinde Yalova il merkezi, güneyinde Bursa ili, doğusunda oto sanayi alanı ve batısında devlet hastanesi, trafik bölge şube müdürlüğü ve alışveriş merkezi gibi önemli çekim merkezleri bulunmaktadır. Bu kavşak Yalova ili açısından oldukça kritik bir öneme sahip Yalova Otogar katlı kavşağıdır. Şekil 2'de görüldüğü üzere 5 farklı akım koluna sahip sinyalizasyon olmayan bir kavşaktır. Her bir akım kolu detaylıca incelendiğinde;

- 1 numaralı akım, Yalova-Bursa yönünü temsil etmekte olup, iki şerit olarak işletilmektedir. Bununla birlikte, Yalova yönünden Otogar kavşağına katılan ve ayrılan yan yol (Y1) ortalama çıkışta %5,8; inişte %3,7 eğime sahiptir.
- 2 numaralı akım, Bursa-Yalova yönünü temsil etmekte birlikte iki şerit olarak işletilmektedir. Bursa yönünden Otogar kavşağına katılan ve ayrılan yan yol (Y2) tek şerit olup çıkışta ortalama %3,4; inişte %4,1 eğime sahiptir.
- 3 numaralı akım, otogar arka girişi/çıkışı temsil etmekte olup yalnızca 1 numaralı akım tarafından taşıt girişi bulunmaktadır. Çift yön ve her yöne tek şerit olarak işletilen bu akım; Otogara gelen toplu taşıma minibüslerine ve yolcu araçlarına hizmet vermektedir.
- 4 numaralı akım, Radar caddesini temsil etmektedir. Çift yön ve her yöne tek şerit olarak işletilen bu kol, ortalama %11,7 eğime sahiptir.
- 5 numaralı akım, Kirazlı Köyü yönünü temsil etmekte olup çift yön ve her yöne tek şerit olarak işletilmektedir.



Şekil 1. Katlı kavşak düzenlemeleri için önerilen iş akış şeması



Şekil 2. Yalova otogar katlı kavşağı uydu görüntüsü (Int Kyn. 1)

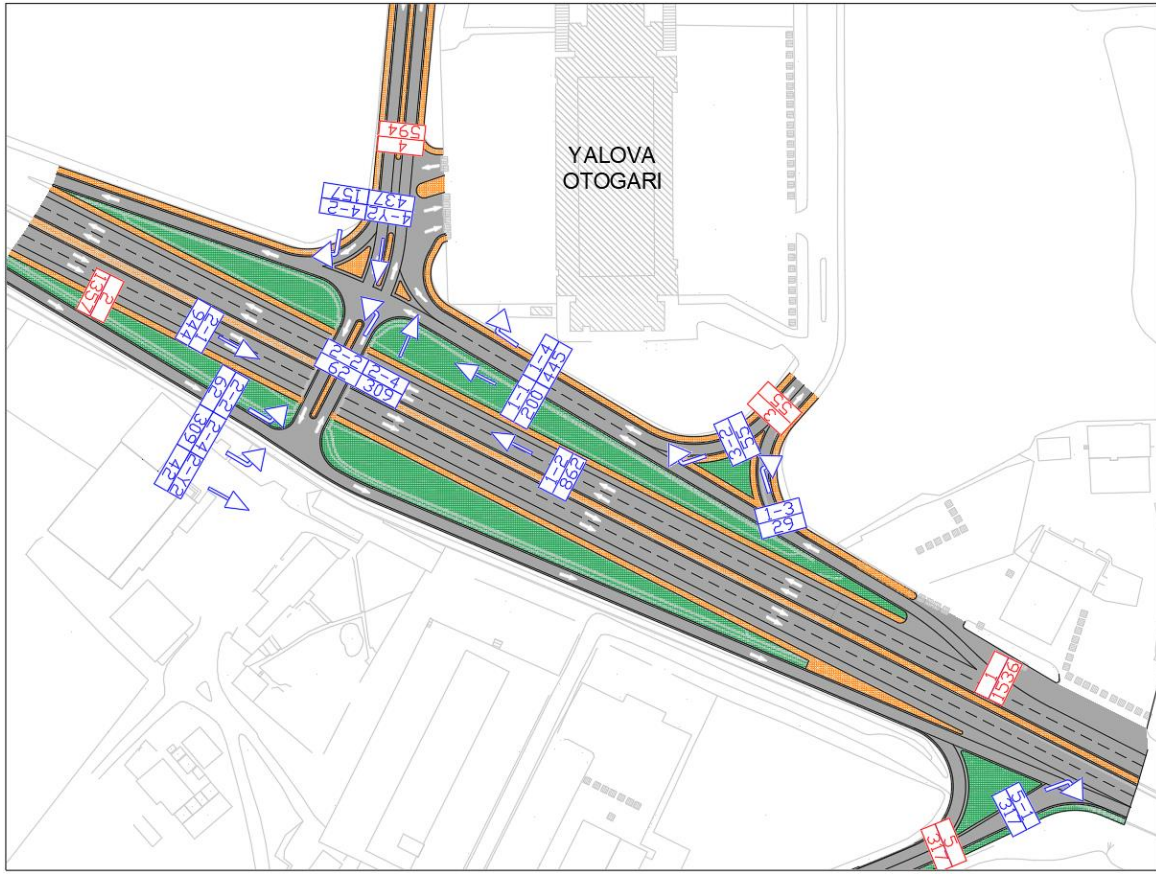
3. Bulgular

İş akış şemasında verilen beş adım, bu bölüm altında belirlenen kavşak üzerinde test edilmiş ve ayrıntılı olarak sunulmuştur.

3.1 Mevcut Durum ve Trafik Sayım Verilerinin Toplanması

Katlı kavşak düzenlemeleri için önerilen iş akış şemasının birinci adımınıdır. Belirlenen çalışma sınırları içerisindeki kavşağın simülasyon girdilerinin belirlenmesi için halihazır haritaların alınması ve taşıt hacminin saptanması gerekmektedir. Halihazır haritalar çalışmanın gerçekleştirildiği il ya da ilçe belediyesinden temin edilebilmektedir. Bunun yanında kavşaktaki taşıt hacminin belirlenmesi trafik sayımı ile gerçekleşmektedir. Günümüzde trafik sayımları dedektör, sensör, drone ve kamera vb. birçok yöntem ile yapılabilmektedir. Bu kapsamda Yalova Otogar katlı kavşağının mevcut durumunun PTV Vissim mikro-simülasyon programında modellenmesi ve taşıt girdilerinin sağlanabilmesi için taşıt sayımında video çekim metodu

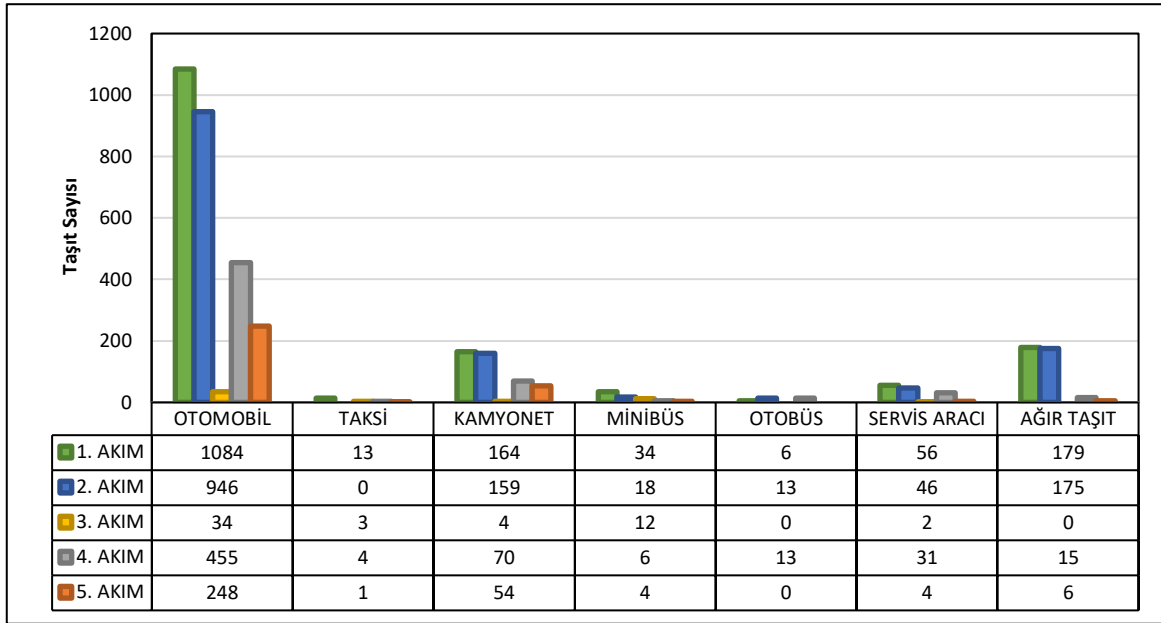
kullanılmıştır. Bu metot ile taşıt hacminin belirlenmesinin yanı sıra kavşakta gün içindeki taşıt hareketleri, yapılan ihlaller ve sorunlar kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Bu doğrultuda 18 Aralık 2019 Çarşamba günü trafiğin yoğun olduğu saatlerde; sabah (07.00-09.00), öğle (12.00-14.00) ve akşam (17.00-19.00) olmak üzere toplam altı saatlik video çekimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için iki farklı kamera kurularak eş zamanlı olarak kavşağın görüntüleri alınmıştır. Elde edilen görüntüler ofis ortamında kavşaktaki beş akım kolu dikkate alınarak incelenmiştir. Her bir akım taşıt türlerine göre (otomobil, taksi, kamyonet, otobüs, servis aracı, ağır taşıt vb.) sınıflandırılmıştır. Trafik hacim değerleri on beş dakikalık periyotlar halinde sayılarak günün sabah, öğle ve akşam zaman dilimleri için zirve saat değerleri tespit edilmiştir. Kavşak en fazla taşıta akşam zirve saatinde hizmet vermektedir, bu yüzden analizlerde de bu zaman dilimindeki taşıt hacimlerinden yararlanılmıştır. Kavşağın mevcut durumuna ait geometrik yapı, her bir kolundan geçen taşıt hacimleri ve taşıt rotaları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Yalova otopark katlı kavşağı mevcut durum geometrisi, taşıt hacimleri ve rotaları

Akşam zirve saatine göre, her bir akım kolundaki taşıtların türel dağılımları Şekil 4'te verilmiştir. Mevcut durumdaki taşıt hacimlerine ek olarak, kavşak çevresinde planlanan yolculuk çekim merkezlerinin (alışveriş merkezi, devlet hastanesi ve yaşam alanları vb.) kavşak üzerindeki ileriye dönük etkilerinin dikkate alınarak öneri düzenlemelerinin yapılması gerekmektedir. Buna göre, yapılma sürecinde olan 400 yataklı 130 polikliniği bulunan şehir hastanesine (Int Kyn. 2) günlük 7.955 kişinin (6.980 hasta ve hasta yakını, 975 hastane personeli) yolculuk edeceği öngörülmektedir. İlgili değerler Konya Karatay Entegre Sağlık Kampüsü Trafik Etüdü Çalışması Ana Raporundan yararlanılarak belirlenmiştir. Belirlenen kişilerin özel otomobil, servis, toplu taşıma, taksi gibi ulaşım türleri ile zirve saat içinde 660 taşıtı kavşağa getireceği ve bu

değerin kavşağı kullanan toplam taşıt sayısını %17,1 oranında artıracığı saptanmıştır. Ulaşım türü bazlı kullanım oranları için Yalova Merkez ilçesinde 2021 yılında yapılan ulaşım anketlerinden yararlanılmıştır. Ancak belirlenen oranın tek başına yeterli olmadığı, kavşak çevresinde yapımı devam eden alışveriş merkezi ve yeni yerleşim alanlarının da olması nedeniyle kavşağı mevcutta kullanan taşıt sayısının %30 oranında artırılmasının daha uygun olduğuna karar verilmiştir. Bu doğrultuda, mevcut ve önerilerin analizinde gözlemlenen trafik hacminin %30 oranında artırılmış değerleri kullanılmıştır. Özellikle bulunduğu bölge için önemli olan kavşaklarda düzenleme yapılırken mutlaka ileriye dönük ayrıntılı talep analizleri yapılmalı, böylece kavşağın yüksek hizmet düzeyinde daha uzun süre işletilmesine olanak sağlanmalıdır.



Şekil 4. Yalova otogar katlı kavşağı akım kollarına göre türel dağılım

3.2 Mevcut Durumdaki Sorunların Tespiti

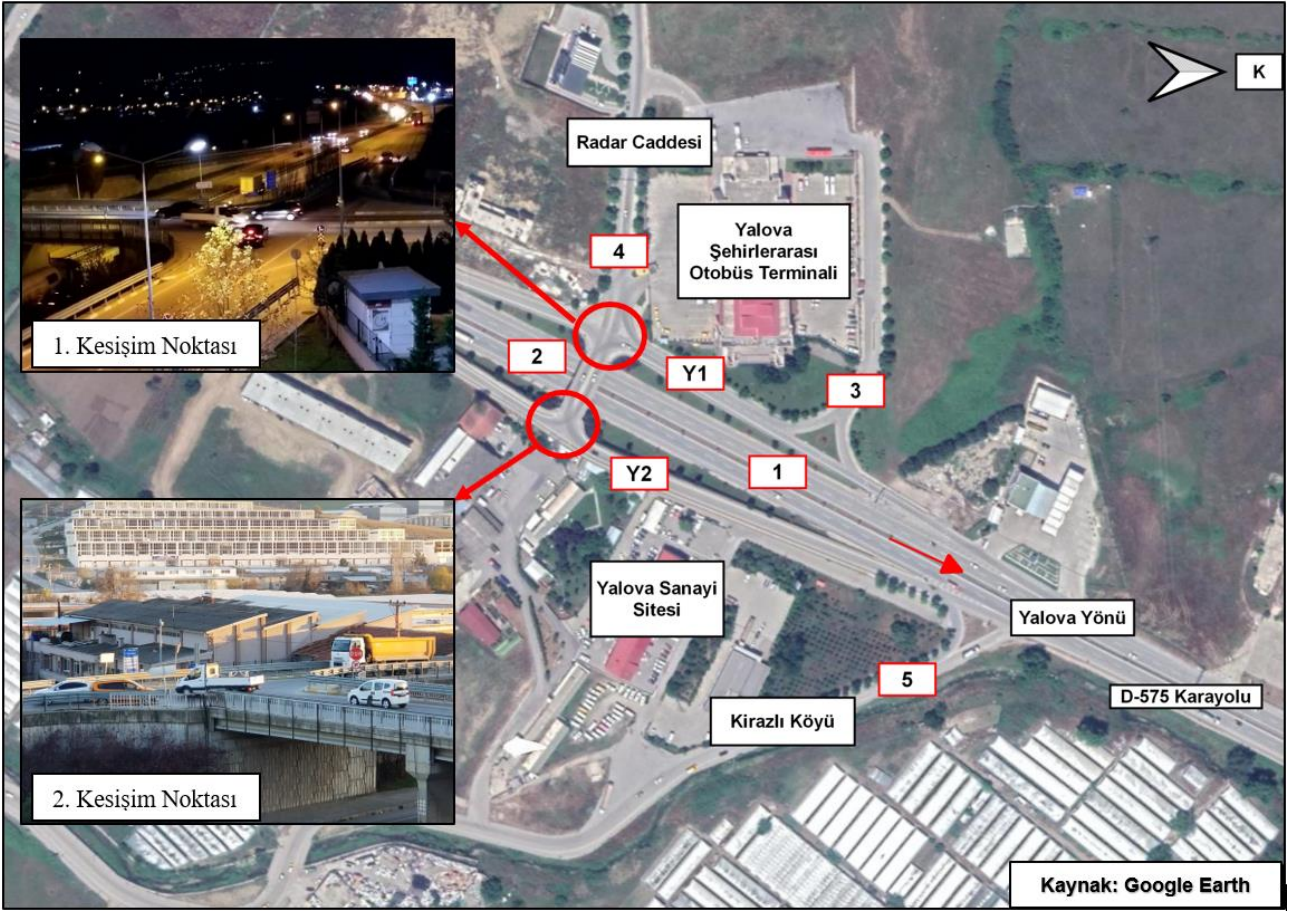
Katlı kavşak düzenlemeleri için önerilen iş akış şemasının ikinci adımıdır. Kavşak düzenleme çalışmalarının asıl amacı, mevcut durumda yaşanan sorunların tespit edilerek bu sorunları ortadan kaldırmak ve kavşağın performansını iyileştirmektir. Tespit edilen bu sorunlara karşı geliştirilen öneriler maliyet ve çevre açısından da uygun olmalıdır. Bahsedilen bu bilgiler kapsamında Yalova Otogar katlı kavşağının mevcut durumunda yaşanan sorunlar, incelenen kamera görüntüleri ve sahada yapılan gözlemler sonucu belirlenmiştir (Şekil 5). Buna göre başlıca sorunlar:

- İki kritik noktada taşıt geçişleri sürücülerin inisiyatifine bırakılarak güvensiz bir geçiş sağlanmıştır.
- Kesişim noktalarında taşıt talebinin yükseldiği zamanlarda taşıt geçişleri esnasında yoğunluklar yaşanmaktadır. Geçişlerde yaşanan aksamalar ile

Y1 (Yalova yönünden gelen taşıtların geçiş yaptığı yan yol üzerinde), Y2 (Bursa yönünden gelen taşıtların geçiş yaptığı yan yol üzerinde) ve 4 (Radar Caddesi üzerinde) numaralı akımlarda taşıt kuyrukları meydana gelmektedir.

- 5 numaralı akımdan çıkan taşıtların Bursa yönüne (2 numaralı akım) geçememesi sebebiyle kural ihlali yaparak Y2 yan yolunu kullanması (ters yön) trafikteki kaza riskini artırmaktadır.
- Geometrik olarak görüş problemlerine sahip olan bu kavşakta, taşıtların geçişi esnasında kör noktalar bulunmaktadır. Bu durum kavşağın güvensiz olduğunu göstermektedir.

Bahsedilen bu sorunların yanı sıra kavşak çevresinde olan, yapımı devam eden ve yapılması planlanan çekim merkezlerinin kavşak üzerindeki etkisi göz önüne alınarak mevcut durumda yaşanan problemlerin artacağı öngörülmektedir.



Şekil 5. Yalova Otogar katlı kavşağındaki akım kesişmeleri ve güvenlik sorunları (Int Kyn. 1)

3.3 Mevcut Durumun Mikro-Simülasyon Programında Modellenmesi, Kalibrasyonu ve Sonuçların Elde Edilmesi

Katlı kavşak düzenlemeleri için önerilen iş akış şemasının üçüncü adımındadır. Bu adımda, kavşağın mevcut durumunun mikro-simülasyon programında modellenmesi gerekmektedir. Bu süreçte, ilgili idareden temin edilen halihazır haritalar altlık olarak kullanılarak kavşağın modellenmesi yapılmıştır. Bu model oluşturulurken kavşağın çevresindeki yolculuk çekim merkezleri de simülasyonda yer almalıdır. Sonrasında, birinci adımda belirlenen akşam zirve saat değerleri simülasyon programına girilmektedir. Simülasyonun gerçekteki durumu yansıtması amacıyla modelin kalibrasyonu yapılmalıdır. Kalibrasyon aşamasında yöntem olarak GEH istatistiği kullanılmıştır. GEH istatistiği trafik mühendisliğinde talep-tahmin modellerinde gözlem ve tahmin değerlerinin karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. Çalışmada da akım kollarında

gözlemlenen taşıt değerleri (gözlem), simülasyon programındaki taşıt değerleri (model) ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada GEH istatistiği değeri kullanılmış olup, bu değerın hesabında Denklem (1) kullanılmıştır.

$$GEH = \sqrt{\frac{2 * (Model - Gözlem)^2}{Model + Gözlem}} \quad (1)$$

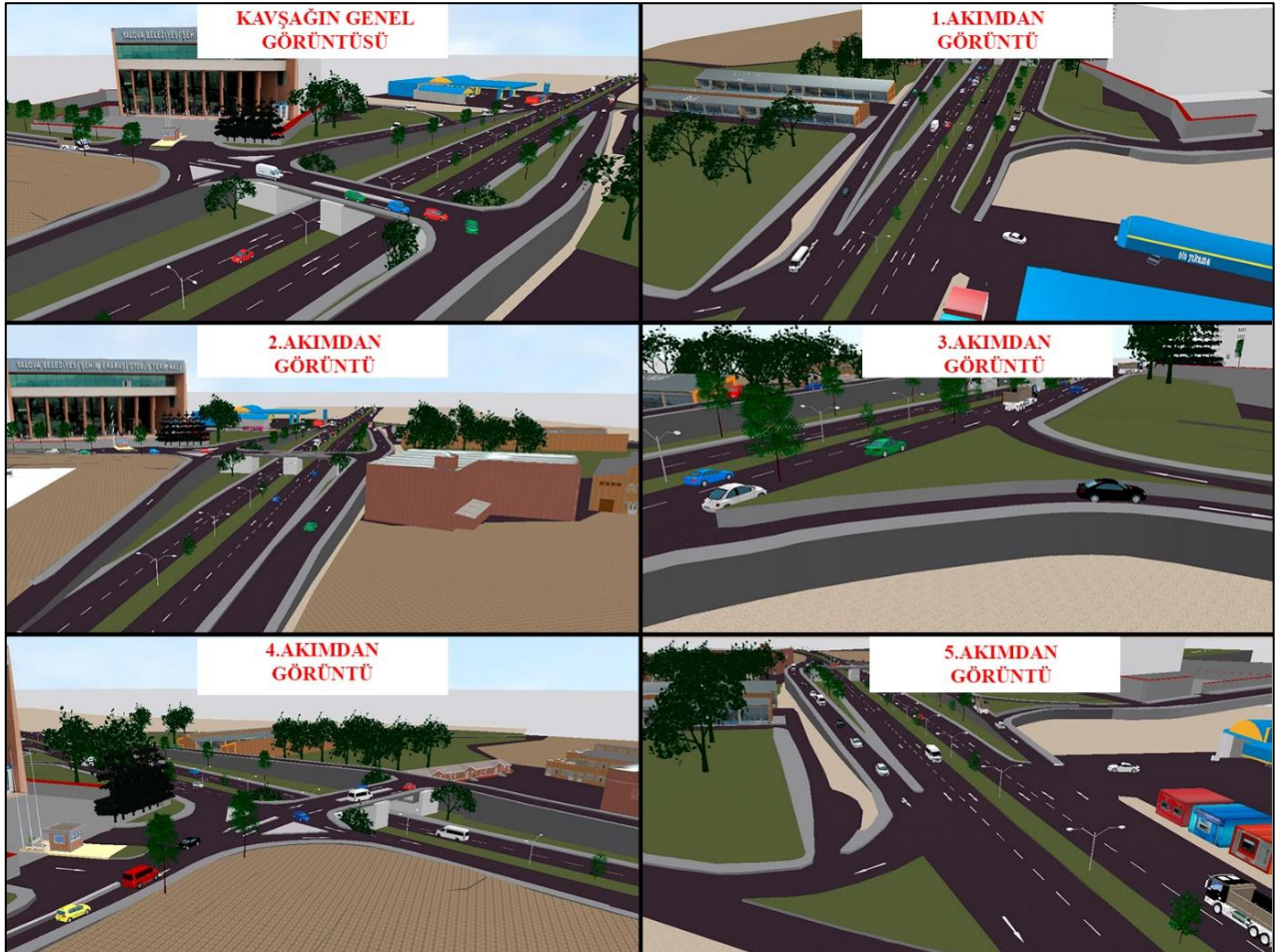
Gözlem ve simülasyon taşıt değerleri her bir akım kolu için belirlenmiş, GEH değerleri hesaplanmış ve kalibrasyon için sınır kriter ($GEH < 5$) kontrol edilmiştir (Çizelge 1). Kalibrasyonun sağlanması için gerekli olan GEH değer aralığında kalınmış olup modelin kalibrasyonu tamamlanmıştır. Mevcut durum kalibre edildikten sonra her bir akım kolundaki trafik hacmi %30 artırılarak mikro-simülasyon programında analiz işlemine başlanmıştır. Bu işlem kavşak yakınında planlanan çekim merkezlerine göre mevcut trafik hacminin güncellenmesidir.

Çizelge 1. Akım kollarına göre GEH değerleri ve kalibrasyon kontrolü

Akım No	Yön Açıklaması	Gözlem Değeri (taşıt)	Simülasyon Değeri (taşıt)	GEH Değeri	GEH<5
1	(1-2) Yalova - Bursa	862	858	0.14	EVET
	(1-3) Yalova - Otogar Arka Giriş	29	31	0.37	EVET
	(1-Y1) Yalova - Otogar Kavşağı Yan Yol	645	603	1.68	EVET
2	(2-1) Bursa - Yalova	944	956	0.39	EVET
	(2-2) Bursa - Bursa	62	65	0.38	EVET
	(2-4) Bursa - Radar Caddesi	309	288	1.22	EVET
	(2-Y2) Bursa - Otogar Kavşağı Yan Yol	42	44	0.30	EVET
3	(3-Y1) Otogar Arka Giriş - Otogar Kavşağı Yan Yol	55	60	0.66	EVET
	(4-Y2) Radar Caddesi - Otogar Kavşağı Yan Yol	437	445	0.38	EVET
4	(4-2) Radar Caddesi - Bursa	157	161	0.32	EVET
	(5-1) Kirazlı Köyü - Yalova	317	310	0.40	EVET
Y1	(Y1-Y2) Otogar Kavşağı Yan Yol - Otogar Kavşağı Yan Yol	200	205	0.35	EVET
	(Y1-2) Otogar Kavşağı Yan Yol - Bursa	24	21	0.63	EVET
	(Y1-4) Otogar Kavşağı Yan Yol - Radar Caddesi	442	434	0.38	EVET
Y2	(Y2-1) Otogar Kavşağı Yan Yol - Yalova	557	580	0.96	EVET
	(Y2-5) Otogar Kavşağı Yan Yol - Kirazlı Köyü	112	110	0.19	EVET

Sabah, öğle ve akşam yapılan trafik çekimleri arasından daha çok trafik yoğunluğunun yaşandığı akşam saati analiz edilmiş ve bu simülasyonların sonucunda bazı parametreler (ortalama gecikme, ortalama durma sayısı, ortalama hız, ortalama

kuyruk boyu, maksimum kuyruk boyu, yakıt tüketimi, CO, NO ve VOC gibi zararlı gaz emisyon değerleri) ve bu parametreler içerisinde gecikme süresine göre kavşağın mevcut durumdaki hizmet düzeyi elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Yalova Otogar katlı kavşağı mevcut durum simülasyonu

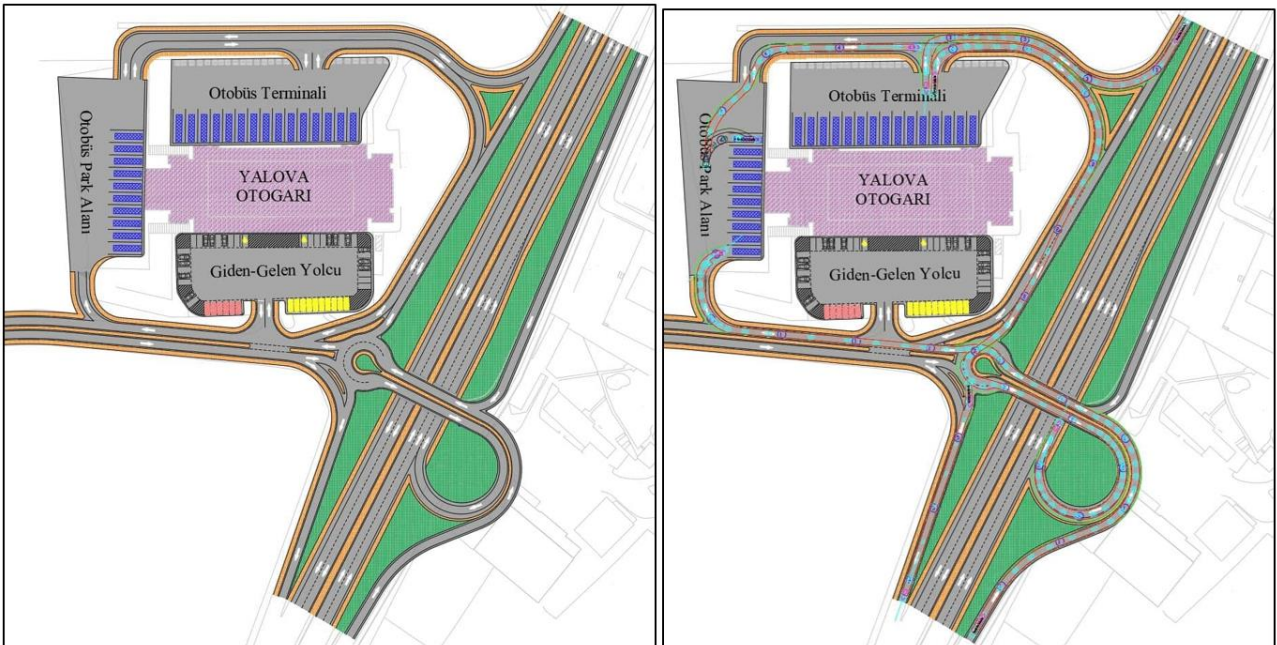
3.4 Tespit Edilen Sorunlara Yönelik Çözüm Önerilerinin Oluşturulması

Katlı kavşak düzenlemeleri için önerilen iş akış şemasının dördüncü adımıdır. Katlı kavşaklarda yapılan çalışmalar, eşdüzey kavşaklara göre daha maliyetli olmakta ve daha geniş alanları kapsamaktadır. Bu doğrultuda, oluşturulan önerilerin uygunluğunun kontrol edilmesi oldukça önemlidir. Çalışmada, ikinci adımda bahsedilen sorunlar değerlendirilip bu sorunların ortadan kaldırılması üzerine öneriler geliştirilmiştir. Mevcut durumda yaşanan sorunların yanı sıra, gelecekte yaşanması öngörülen sorunların da ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Çözüm önerileri içerisinde dönel ada uygulaması bulunmakta olup, taşıt geçişleri katılım ve ayırım olarak düzenlenmiştir. Önerilen dönel ada ile kavşağı kullanan taşıtların hızları azaltılmış ve geçişler esnasında güvenlik seviyesi artırılmıştır. Ayrıca kavşağa yakın konumda bulunan şehirlerarası otoyolda otobüs giriş, çıkış yerleri yeniden düzenlenerek kavşak daha güvenli bir hale getirilmiştir. Çevresel koşullar ve kavşak

güvenliği ele alınarak dönel ada uygulamasının içerisinde uygulandığı iki alternatif çözüm önerisi sunulmuştur.

3.4.1 Trompet Kavşak Önerisi

Dördüncü adım kapsamında yapılan birinci kavşak düzenleme önerisidir. Trompet kavşak önerisi ile ikinci adımda belirlenen güvenlik problemlerinin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Taşıt geçişlerinin sistematik hale getirilmesi ile sürücü inisiyatifine bakılmaksızın köprü üzerine çıkan taşıtlar ile anayola bağlanmak isteyen taşıtlar birbirinden ayrılmıştır. Anayola bağlanmak isteyen taşıtlar için katılım şeridi oluşturulmuş ve anayol üzerindeki akıma olan etki en aza indirilerek güvenli katılım sağlanmıştır. Bu kavşak düzenleme önerisi, AutoCAD ortamında çizilerek 'Vehicle Tracking' eklentisi ile kavşağı sıkça kullanan taşıt türlerine göre kontrol edilmiştir. Böylece kurpların ve dönüş yarıçaplarının taşıtlar açısından uygun olduğu görülmüştür. Katlı kavşak düzenleme önerisi ve ilgili kontroller Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. Trompet kavşak önerisi ve kontrolleri

Kontrollerin ardından kavşak düzenleme önerisi, PTV Vissim mikro-simülasyon programında modellenmiştir. Trafik sayım kameraları ile elde edilen taşıt hacimleri, gelecek öngörüler de dikkate alınarak %30 oranında artırılarak modele girilmiştir. Kavşak önerisi için hazırlanan simülasyon çalıştırılarak performans parametreleri (ortalama

gecikme, ortalama durma sayısı, ortalama hız, ortalama kuyruk boyu, maksimum kuyruk boyu, yakıt tüketimi, CO, NO ve VOC gibi zararlı gaz emisyon değerleri) belirlenmiştir. Trompet kavşak önerisine ait simülasyon görüntüsü Şekil 8'de görülmektedir.

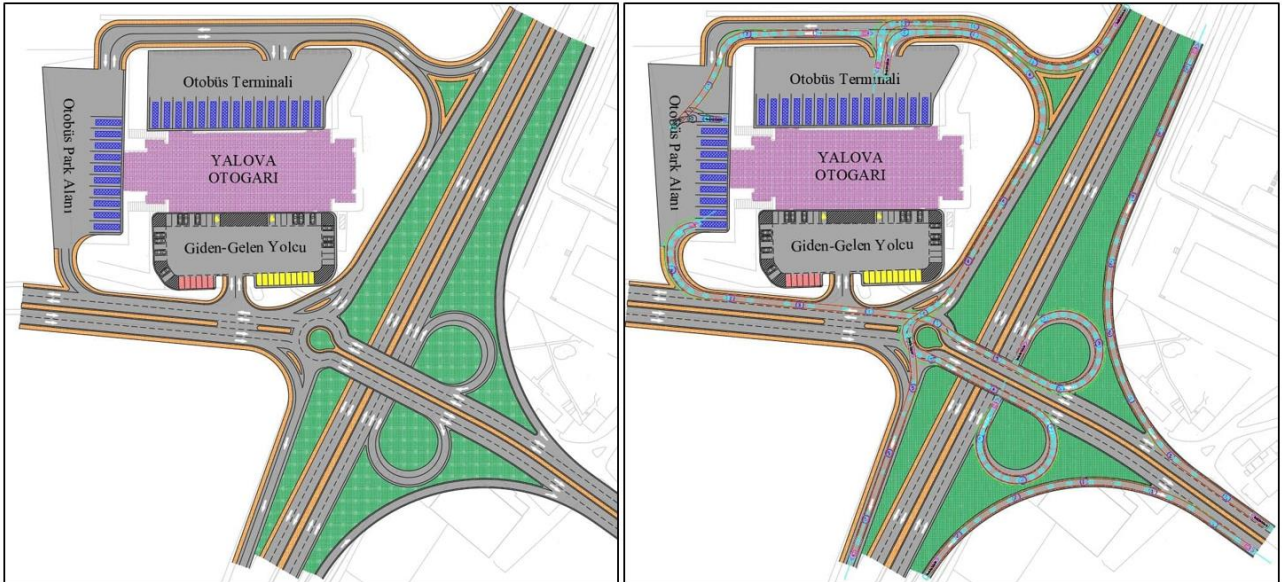


Şekil 8. Trompet kavşak öneri simülasyonu

3.4.2 Yarım Yonca Kavşak Önerisi

Dördüncü adım kapsamında yapılan ikinci kavşak düzenleme önerisidir. Yarım yonca kavşak önerisi ile ikinci adımda belirlenen güvenlik problemlerinin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Sürücü taleplerine göre yapılan ihlaller göz önüne alındığında Kirazlı köyünden gelen taşıtlar için bu yönde bir ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda yarım yonca kavşak önerisi geliştirilmiş ve Kirazlı köyüne bağlantı sağlanmıştır. Bununla beraber birinci öneride olduğu gibi taşıt geçişleri

sürücülerin inisiyatifine bırakılmadan sistematik hale getirilmiştir. Yine birinci önerideki gibi köprü üzerinden transit geçişe, yani anayola bağlanmak isteyen taşıtlar için katılım şeridi oluşturulmuş ve anayol üzerindeki akıma olan etki en aza indirilerek güvenli katılım sağlanmıştır. Bu kavşak düzenleme önerisi, AutoCAD ortamında çizilip Vehicle 'Tracking eklentisi' ile kavşağı genellikle kullanan taşıt türlerine göre kontrol edilmiştir. Böylece kurpların ve dönüş yarıçaplarının taşıtlar açısından uygun olduğu belirlenmiştir. Kavşak düzenleme önerisi ve ilgili kontroller Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 96. Yarım yonca kavşak önerisi ve kontrolleri

Kontrollerin ardından geliştirilen yarım yonca önerisi, PTV Vissim mikro-simülasyon programında modellenmiştir. Trafik sayım kameraları kullanılarak elde edilen taşıt hacimleri gelecek öngörülerini de düşünülerek %30 oranında artırılmış ve modele girilmiştir. Kavşak önerisi için hazırlanan simülasyon çalıştırılarak performans parametreleri (ortalama

gecikme, ortalama durma sayısı, ortalama hız, ortalama kuyruk boyu, maksimum kuyruk boyu, yakıt tüketimi, CO, NO ve VOC gibi zararlı gaz emisyon değerleri) saptanmıştır. Yarım yonca kavşak önerisine ait simülasyon görüntüsü Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 70. Yarım yonca kavşak öneri simülasyonu

3.5 Uygun Çözüm Önerisinin Belirlenmesi

Katlı kavşak düzenlemeleri için önerilen iş akış şemasının beşinci ve son adımıdır. Bu adımda, PTV Vissim mikro-simülasyon programından alınan sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede sabah, öğle ve akşam yapılan simülasyonlar arasında taşıt hacminin en yüksek olduğu akşam (%30 trafik hacmi artırılmış) simülasyon sonuçları kullanılmıştır. Sonuç çıktılarında; ortalama gecikme, ortalama durma sayısı, ortalama hız, ortalama kuyruk boyu, maksimum kuyruk uzunluğu, CO emisyonu, NO emisyonu, VOC emisyonu uçucu organik madde gibi zararlı gazlar ve yakıt tüketimi kriterleri dikkate alınmıştır. Sinyalize olmayan bir kavşağın ortalama gecikme süresine göre hizmet düzeyinin belirlenmesi aşamasında ise Çizelge 2'den yararlanılmıştır.

Çizelge 2. Hizmet Düzeyi Kriterleri (HCM, 2010)

Sinyalize Olmayan Kavşaklar için Hizmet Düzey Kriterleri	
Hizmet Düzeyi	Ortalama Gecikme (saniye)
A	0-10
B	10-15
C	15-25
D	25-35
E	35-50
F	>50

PTV Vissim mikro-simülasyon programından alınan simülasyonun sonuçları Çizelge 3'te gösterilmiştir. Burada mevcut durumun, trompet ve yarım yonca kavşak önerilerinin simülasyon sonuçları özetlenmiştir. Çizelge 2'de verilen bilgilere göre, mevcut durum simülasyonunun F, trompet kavşak öneri simülasyonunun B, yarım yonca kavşak öneri simülasyonunun da A hizmet düzeyinde olduğu belirlenmiştir. Simülasyon çıktılarına göre yarım yonca kavşak önerisi mevcut kavşak için daha uygun bir öneridir.

Çizelge 3. Simülasyon sonuçları

Performans Parametreleri	Mevcut Durum	ÖNERİ 1	ÖNERİ 2
		Trompet Kavşak Önerisi	Yarım Yonca Kavşak Önerisi
Hizmet Düzeyi	F	B	A
Ortalama Gecikme (saniye)	80,3	13,9	5,3
Ortalama Durma Sayısı	3,7	0,7	0,2
Ortalama Hız (km/sa)	16,4	38,8	44,8
Ortalama Kuyruk Boyu (m)	58,3	16,8	0,9
Maks. Kuyruk Uzunluğu (m)	393,4	260,6	80,7
CO Emisyon (gram)	13544,8	6426,5	4793
NO Emisyon (gram)	2635,3	1250,4	932,5
VOC Emisyonu (gram)	3139,1	1489,4	1110,8
Yakıt Tüketimi (galon)	193,8	91,9	68,6

Simülasyon çıktıları incelendiğinde elde edilen sonuçlar özetlenerek sıralanmıştır.

- Hizmet düzeyi seviyelerini belirleyen ortalama gecikme süreleri incelendiğinde; mevcut durum ile trompet kavşak önerisi arasında %83 oranında azalma, mevcut durum ile yarım yonca önerisi arasında %93 oranında azalma olduğu görülmektedir.
- Ortalama durma sayısı değerlerine göre mevcut durum ile trompet kavşak önerisi arasında %81 oranında azalma, mevcut durum ile yarım yonca kavşak önerisi arasında %95 oranında azalma görülmektedir.
- Ortalama hız değerlerine göre mevcut durum ile trompet kavşak önerisi arasında %137 oranında artma, mevcut durum ile yarım yonca kavşak önerisi arasında %173 oranında artma görülmektedir.
- Ortalama kuyruk boyu değerlerine göre mevcut durum ile trompet kavşak önerisi arasında %71 oranında azalma, mevcut durum ile yarım yonca kavşak önerisi arasında %98 oranında azalma görülmektedir.
- Maksimum kuyruk boyu değerlerine göre mevcut durum ile trompet kavşak önerisi arasında %34 oranında azalma, mevcut durum ile

yarım yonca kavşak önerisi arasında %79 oranında azalma görülmektedir.

- Geliştirilen kavşak düzenleme önerileri sonucunda zararlı gazların (CO, NO ve VOC) emisyonunda ve yakıt tüketimi değerlerinde önemli derecede azalma sağlanmıştır. Zararlı gazların emisyon ve yakıt tüketim değerlerine göre mevcut durum ile trompet kavşak önerisi arasında %53 oranında azalma, mevcut durum ile yarım yonca kavşak önerisi arasında %65 oranında azalma görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bir bölgede istenilen ulaşım yapısının kurulması için kritik noktalar olan kavşakların uygun tasarlanması gerekmektedir. Taşıt geçişlerinin çok sık olduğu, talebin yükseldiği noktalarda eşdüze kavşakların yerine katlı kavşaklar tasarlanmaktadır. Bu kavşaklarda taşıt geçişlerinin birbirinden en az etkilenecek şekilde sağlanması temel amaçtır. Fakat zaman içerisinde bu katlı kavşaklarda da trafik hacmi ve çevresel etkenlerden dolayı performans düşüklüğü meydana gelebilmektedir. Bu durumlarda kavşaklarda yapılan trafik sayımları ve gözlemler ile kavşağın tasarımında değişiklikler yapılmaktadır. Bu değişiklikler yapılırken belirli bir düzen göz önünde bulundurularak öneriler sunulması faydalı olmaktadır. Bu çalışma kapsamında da geliştirilen iş akış şemasına göre kavşak düzenleme önerileri simülasyon programı kullanılarak modellenmiş, analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar ile uygun kavşak tasarımına karar verilmiştir.

Çalışma Yalova ili, merkez ilçesi, D575 karayolu üzerinde bulunan Yalova Otogar katlı kavşağı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada önerilen iş akış şemasında beş farklı adım bulunup, her bir adımda yapılması gerekenler ayrıntılı şekilde belirtilmiştir. Bu öneri iş akış şeması seçilen kavşakta test edilerek geçerliliği doğrulanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre kavşaktaki gecikme süreleri, mevcut durum ile iki öneri arasında ayrı olarak karşılaştırılmıştır. Mevcut durumun birinci öneri (trompet kavşak) ile karşılaştırılması sonucunda ortalama gecikme süresinde %83 oranında bir iyileşme gözlemlenmiştir. Bununla beraber mevcut durumun ikinci öneri (yarım yonca

kavşak) ile karşılaştırılması sonucunda ortalama gecikme süresinde %93'lük bir iyileşme sonucuna varılmıştır. Kavşakta yaşanan gecikme süreleri, kavşağın hizmet düzeyini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, mevcut durumda F hizmet düzeyine sahip olan Otogar katlı kavşağı, trompet kavşak önerisiyle B, yarım yonca önerisiyle A seviyesine yükselmiştir. Buna göre yarım yonca kavşak önerisinin daha uygun bir seçenek olduğu belirlenmiştir.

Kavşak düzenleme önerilerinde kavşağın çevreye olan etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır. Trafik yoğunluğu ve gecikme sürelerinin azaltılarak hizmet düzeyinin iyileştirilmesinin yanında, çevreci bir kavşak olma özelliği sağlanması da oldukça önemlidir. Yapılan çalışmayla birlikte, zararlı gaz salınımının trompet kavşak düzenleme önerisi ile %53, yarım yonca kavşak düzenleme önerisi ile ise %65 oranında azaldığı görülmüştür. Kavşağın çevreye olan etkisinin yanı sıra, bu kavşağı tercih eden sürücüler için yakıt tüketimi de oldukça önemlidir. Benzer oranda faydalar yakıt tüketiminde de sağlanmıştır.

Yalova Otogar katlı kavşağında yapılan bu çalışma içerisinde kritik öneme sahip olan iş akış şeması tasarımcılara yol gösterici niteliktedir. Bununla beraber; geliştirilen önerilerin, kavşağı tercih eden taşıt türlerine göre tasarlanması ve taşıt dönüşlerinin kontrol edilebildiği programlardan yardım alınması gerekmektedir. Ayrıca, katlı kavşak düzenleme önerilerinde kullanılan iş akış şemasının ilerleyen çalışmalar ile daha da geliştirilmesi sağlanmalıdır.

Teşekkür

2019-2020 eğitim öğretim yılında, Yalova Üniversitesi, Ulaştırma Mühendisliği bölümü tarafından, lisans bitirme tezi olarak yapılan, 'Yalova Otogar Kavşağının Düzenlenmesi ve Vissim Simülasyon Programı ile Analizi' bu makalenin içeriğini oluşturmaktadır. Bu kapsamda her iki çalışma aşamasında PTV Group tarafından sağlanan Vissim programı kullanılmıştır (PTV Vissim mikro-simülasyon programının lisansı, 01.11.2019 – 31.10.2020 tarihleri arasında sağlanmıştır). Bundan dolayı, bu çalışmaya katkıda buldukları için PTV Group'a teşekkür ederiz.

Çalışma kapsamında Autodesk tarafından sağlanan Autocad programının ve Vehicle Tracking eklentisinin ücretsiz öğrenci versiyonu kullanılmıştır. Bundan dolayı,

bu çalışmaya katkıda buldukları için Autodesk şirketine teşekkür ederiz.

Yalova Belediyesi, Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü'nden ilgili kavşaklara ait hali hazır haritalar temin edilmiştir. Çalışmaya verdikleri destekler için Yalova Belediyesi, Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

Bayata H.F. ve Bayrak O.Ü., 2018. Yeni yapılması planlanan bir kavşağın mikro-simülasyon ile değerlendirilmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **11(3)**, 550-559.

Bayrak, O.Ü., Bayata, H.F., Hattatoğlu, F. ve Çolak, M.A., 2016. Mikrosimülasyon kullanılarak bir kavşağın trafik yönetim ölçümlerinin değerlendirilmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **6(3)**, 87-96.

Baş, F.İ., Çolak, M.A., Demiriz, A.O., Bayata, H.F., Bayrak, O.Ü., Keleş, Ö.F., Mazlum, Y., Gürel, M.O. ve Demircioğlu M.S., 2020. Kent içi kavşakların mikro simülasyon yöntemiyle modellenmesi: Erzurum ili örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı, 444-451.

Camcı, A., 2019. Kavşak tasarımında trafik simülasyon tekniklerinin kullanımı ve Sakarya için uygulamalar. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 79.

Erol, D., 2018. Kent içi ışıklı ve dönel kavşak uygulamalarının performans kriterlerine etkisi: Denizli örneği. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 89.

Frosch, C., Martinelli, D. and Unnikrishnan, A., 2019. Evaluation of Shared Space to Reduce Traffic Congestion. *Journal of Advanced Transportation*, **2019**, 1-10.

İlıcılı, M. ve Saraç, S., 2019. Trafik sıklığının azaltılmasında ulaşım çözümlerinin etkisi. *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, **2 (2)**, 93-107.

Jagali, R. P. and Kadam, M. R. L., 2016. Traffic queuing analysis on chord road, Vijayanagar, Bengaluru using PTV Vissim software. *GRD Journals: Global Research and Development Journal for Engineering*, **1(9)**, 14-19.

- Kaixi, Y. and Meiqi, L., 2020. Traffic simulation, optimization and evaluation of adjacent intersections based on VISSIM model. *Applied Science and Innovative Research*, **4(2)**, 53-59.
- Karakikes. I., Spangler, M. and Margreiter, M., 2017. Designing a Vissim-Model for a motorway network with systematic calibration on the basis of travel time measurements. *Transportation Research Procedia*, **24**, 171–179.
- Kumar, J.L., 2020. Study of Heterogeneous Traffic and Modelling using VISSIM. Hyderabad, Telangana, India.
- Namlı, R., 2015. Köprülü kavşaklar ve trafik güvenliği. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, **31(2)**, 129-134.
- National Research Council, 2010. Highway capacity manual 2010. 5th ed., Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Ocakdan, S., 2010. Arterlerin yeniden yapılandırılmasında simülasyon tekniği ile karar verme ve bir kavşak uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 116.
- Saplıoğlu, M., ve Karaşahin, M., 2010. Şehir içi kontrolsüz eşdüzey kavşak kazalarını etkileyen unsurların değerlendirilmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, **2(2)**, 26-49.
- Tunalıoğlu, N., 2005. Katlı kavşakların ve bağlantı yollarının planlanması örnek uygulama olarak Altunizade katlı kavşağı. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 116.
- Utomo, E., Ramadhan, F. and Imran, A., 2020. VISSIM simulation-based analysis for improving traffic conditions in Bandung Indonesia. *International Journal of Simulation Systems, Science & Technology*, **21(4)**, 5.1-5.6.

İnternet kaynakları

1-<https://earth.google.com/> (22.12.2021)

2-<https://yalovaism.saglik.gov.tr/TR-80832/400-yatakli-devlet-hastanesi.html> (22.12.2021)

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 065701 (1453-1459)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 065701 (1453-1459)

DOI: 10.35414/akufemubid.1004368

Araştırma Makalesi / Research Article

Çölyak Hastaları İçin Meşe Palamudu Meyvesinden Glütensiz Diş Macunu Elde Edilmesi ve Analizi

Öznur YAŞA ŞAHİN¹, Hande KAMAL¹, Azra Melek YAŞAR¹, Ece Şule KAYA¹¹İstanbul Özel Bahçeşehir Lisesi, İstanbul, Türkiye

Sorumlu yazar, e-mail: oznuryasa@hotmail.com

hande.kamal@bahcesehir.k12.tr

ecesulekaya@gmail.com

azramelekyasar@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8558-2892>ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1362-5646>ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5703-8796>ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0062-7204>

Geliş Tarihi: 04.10.2021

Kabul Tarihi: 30.12.2021

Öz

Anahtar kelimeler

Meşe Palamudu;
Glüten; Diş Macunu;
Çölyak Hastalığı

Günümüzde giderek yaygınlaşan çölyak hastalığı ile ilgili araştırmalara bakıldığında glütensiz yiyeceklerin ön planda olduğu görülmektedir. Çölyak hastalığı ve glüten duyarlılığı olan bireylerin sağlıklı bir yaşam sürdürebilmesi için beslenmelerinde olduğu gibi kişisel bakım ürünlerinde de glüten bulunmamalıdır. Meşe palamudu, meşe ağacının (*Quercus*) çeşitli türlerinden biridir. Ülkemiz, meşe ağacı cinsinin yayılış ve tür dağılımı bakımından en zengin merkezlerden birini oluşturmaktadır. Meşe ağacının meyvesine halk arasında palamut denilmektedir. Palamut, pelit ve kadeh (kupula) olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Meşe palamudunun antioksidan özelliği vardır ve glütensiz olması önemli özelliklerindedir. Bu araştırma kapsamında çölyak hastalarının kullanımına uygun glütensiz diş macunu formülasyonunun geliştirilmesi için ham madde olarak meşe palamudu kullanılmış, elde edilen diş macununun glütensiz olduğu analiz ile kanıtlanmış ve antibakteriyel etki göstermesi incelenmiştir.

Obtaining and Analysis Of Gluten-Free Toothpaste From Acorn For Celiac Patients

Abstract

Keywords

Acorn; Gluten;
Toothpaste; Celiac
Disease

When the researches on celiac disease, which are becoming more and more common today, are examined, it is seen that gluten-free foods are at the forefront. In order for individuals with celiac disease and gluten sensitivity to lead a healthy life, gluten should not be present in personal care products as well as in their diets. The acorn is one of the several species of the oak tree (*Quercus*). Our country is one of the richest centers in terms of the species distribution of the oak tree genus. The fruit of the oak tree is called acorn among the people. Acorn consists of two parts: valonia and cup. Having antioxidant properties and being gluten-free is one of acorns' important features. Within the scope of this research, the use of acorn as a raw material for the development of gluten-free toothpaste formulation suitable for the use of celiac patients, the proof that the obtained toothpaste is gluten-free with analysis and its antibacterial effect were examined.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Çölyak hastalığı; genetik olarak duyarlı kişilerde buğday, arpa, çavdar ve yulafın içinde bulunan bir protein olan glütene karşı duyarlılık reaksiyonu olup, kalıcı intolerans geliştiren proksimal ince bağırsak hastalığıdır (Karaahmet 2018). Ülkemizde çölyak hastası sayısı gittikçe artmakta olup 250 bin ile 750

bin arasında olduğu tahmin edilmektedir. Dünya genelinde ise çölyak hastalığı %0,6 ile %1 arasında bir görülme sıklığına sahiptir (Durlu Özkaya vd. 2017).

Yapılan literatür taraması sonucunda, bu hastalığa sahip olan kişilerin glüten içeren besinler tüketmesi sağlıklı bir yaşam sürmelerini engellemekle beraber

kullandıkları kozmetik ürünleri ve diş macunlarında da glüten bulunmaması gerektiği bilgisine ulaşılmıştır. Bascunan vd. (2017) yaptıkları çalışmada günlük hayatta kullanılan bazı ürünler potansiyel olarak zararlı seviyelerde glüten içerebileceği ve bu ürünlerin yutulabilen ilaçlar, diş macunları, ağız çalkalama suları ve kozmetik ürünler olabileceğini açıklamışlardır.

Benzer bir şekilde Verma vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada glütenin sadece gıdalarda değil kişisel bakım ürünleri, diş macunları, ağız gargaraları, sabunlar, rujlar, dudak parlaticıları ve dudak balsamı gibi ürünlerde de bulunabileceği ortaya konmuştur.

Memon vd. (2013) tarafından ele alınan bir vaka raporunda ise diş protezlerinde glüten varlığının dikkate alınmasının önemi ifade edilmiştir. Hastanın glütensiz diyet ile beslenmesine rağmen, diş protezinin glüten içermesinden dolayı hastalığın semptomlarına sahip olduğu görülmüştür.

Sharma vd. (2016) yaptıkları çalışmada kişisel bakım ve kozmetik ürünlerinde glüten miktarlarını tespit etmiş ve glüten içermez ifadelerinin doğru olup olmadığını incelemişlerdir. Glüten içermez ifadesi yer alan birçok üründe glüten tespit edildiği görülmüştür.

Benzer bir şekilde Verma vd. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada diş macunu, dudak balsamı ve ruj gibi ürünlerin içerisindeki glüten miktarlarının tespit edilmesi ve glüten içermez ifadelerinin doğru olup olmadığı incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda bazı ürünlerde glüten içermez ifadesi yer aldığı halde içerisindeki glüten miktarının izin verilen sınırlar içerisinde olmadığını tespit etmişlerdir.

Çölyak hastaları için glütensiz ekmek ve bisküvi üretim çalışmaları literatürde sıkça yer almaktadır. Bu çalışmaların birinde glütensiz bisküvi üretimi için ham madde olarak pirinç unu, keçiyoynuzu unu ve kestane unu kullanılmıştır (Topaloğlu 2019).

Korus vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada ise glütensiz bisküvi üretiminde mısır unu, değişen oranlarda meşe palamudu unu ve kenevir unu kullanılmıştır.

Benzer bir şekilde Korus vd. (2015) ve Martins vd. (2020) glütensiz ekmek üretimi ve analizi çalışmalarında ham madde olarak meşe palamudunu kullanmışlardır.

Çölyak hastaları ya da glüten duyarlılığı olan bireyler için glütensiz ekmek ve bisküvi üretimi ya da diş macunu, dudak balsamı ve ruj gibi ürünlerin içerisindeki glüten miktarlarının tespit edilip glüten içermez ifadelerinin doğru olup olmadığının incelenmesi ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmasına rağmen diş macunlarında kil ham maddesi yerine farklı bir ham madde kullanılarak glütensiz diş macunu formülasyonu oluşturulmasına yönelik herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu araştırma kapsamında ise çölyak hastalarının kullanımına uygun glütensiz diş macunu elde edilmesi için ham madde olarak meşe palamudu kullanılmış ve elde edilen diş macununun glüten tespit analizi yapıp antibakteriyel etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Diş Macunu Bileşenlerinin Belirlenmesi

Çölyak hastaları için hazırlanan diş macununda kullanılan maddeler: Meşe palamudu, karbonat (sodyum bikarbonat), limon yağı, bergamot yağı ve gliserindir.

Meşe palamudu bileşiminde çeşitli mineraller, faydalı yağ asitleri, steroller ve alifatik asitler, lif ve hidrokarbonlar bulunur. Ana madde olarak meşe palamudunun tercih edilmesinin nedenleri glütensiz olması, antimikrobiyal ve antiinflamatuvar özellik göstermesi, antioksidan olması, ağız yaralarını ve iltihapları geçirmesidir (Silva *et al.* 2016, Vinha vd. 2016).

Yardımcı maddelerden olan limon yağı, limon kabuğundan elde edilmektedir ve tat verici olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda diş sağlığı için limon kabuğunun dişe sürüldüğü ve ağrıyan dişe limon damlatıldığı, limon suyunun ise antiseptik etki gösterdiğinden gargara uygulamasında kullanıldığı görülmüştür. Bunlara ek olarak ağız kokularını giderme, antiseptik özellik gösterdiği için iltihapları giderme, diş etlerini kuvvetlendirme, plak önleyici ve ferahlatıcı etkilere sahip olduğu için limon yağı tercih edilmiştir (Durna ve Kolukisa 2020).

Esansiyel bir yağ olan bergamot yağı antioksidan ve antiseptik özelliklere sahiptir. Yapılan çalışmada aroma verici olarak kullanılmıştır. Diş macununun ana bileşenlerinden olan linalol ve linalil asetat ise

lavanta aroması vermektedir (Pernice vd. 2009, Tayfun 2019). Ayrıca, ferahlık ve tazelik hissi vermesi ve plak önleyici olmasından dolayı tercih edilmiştir (Karaca vd. 2007).

Karbonik asit monosodyum tuzu veya sodyum hidrojen karbonat olarak adlandırılan sodyum bikarbonat, sodyum ile karbonik asitten meydana gelen bir tuzdur. Genellikle karbonat veya soda olarak da bilinen sodyum bikarbonat kullanılan yardımcı maddelerdendir. İçerisinde asit tuzu bulunduğu gargara yapıldığında diş ağrılarını hafiflettiği, diş eti ve çürüklerine dezenfektan etkisi yaptığı görülmüştür (Durna ve Kolukisa 2020). Ayrıca karbonatın lekeleri giderdiği, çürük önleyici ve antibakteriyel etki gösterdiği görülmüştür (Ercan Devrimci ve Türkün 2020).

Yapılan çalışmalarda diş macunlarına nem sağlamak amacıyla nemlendiriciler ilave edildiği görülmüştür. En yaygın olarak sorbitol ve gliserin kullanılarak diş macununun sertleşmesinin önüne geçilmiştir (Dağ ve Özalp 2013). Bu çalışmada da diş macunu içerisinde nemlendirici olarak gliserin kullanılmıştır.

2.2 Meşe Palamutlarının Kurutulması ve Öğütülerek Toz Haline Getirilmesi

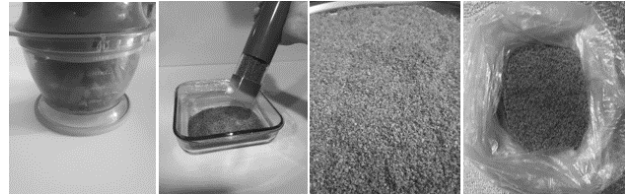
Glütensiz diş macunu yapabilmek için ağustos ayında meşe palamutları toplanmıştır. Şekil 1'de meşe palamutları soyulup içlerindeki meyve kısımları alınmıştır. Meşe palamutlarının en belirgin özellikleri, proteinler ile kararlı çapraz bağlar oluşturacak yeterli miktarda fenolik hidroksil grubu içermeleri ve yüksek molekül ağırlıklı bileşikler olmalarıdır. Bu özellikleri nedeniyle gıdalarda bulunan tanenler ağızdaki doku ve salgı proteinleri ile stabil çapraz bağlar oluştururlar. Bu nedenle tanence zengin gıdalar ağızda buruk tada neden olurlar (Bakkalbaşı 2012). Bu acı tadın gitmesi ve tannik asitin kaybolması için Şekil 2'de meşe palamut meyveleri 12-14 gün arası suda bekletilmiştir. Suda bekletildikleri sürede su düzenli olarak her sabah ve akşam değiştirilmiştir. Bu işlem tamamlandıktan sonra meşe palamutları 2 hafta boyunca güneş ışığında bekletilerek kurutulmuştur. Şekil 3'te meşe palamutları kuruduktan sonra robot ile çekilmiştir ve daha ince bir hâl almaları için öğütücüyle öğütülerek toz haline getirilmiştir.



Şekil 1. Meşe palamutlarının soyularak meyve kısmının çıkarılması.



Şekil 2. Meşe palamudu içeriğindeki tannik asitin uzaklaştırılması.



Şekil 3. Meşe palamutlarının öğütülerek toz haline getirilmesi.

2.3 Diş Macunu Elde Edilmesi

Diş macunu elde edilmesinde kullanılan ekipman/araçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

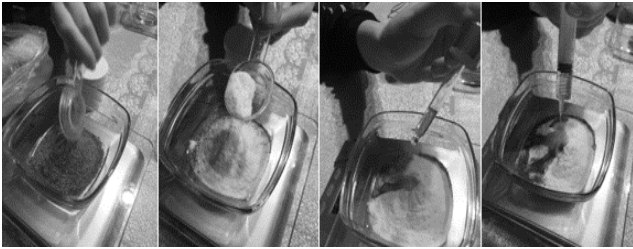
Çizelge 1. Kullanılan Ekipman/Araçlar

Ekipman/Araç Adı	Adet
Terazi (0,1 hassasiyette)	1
Steril enjektör	3
Steril kap	1
Abeslang	3

Glütensiz diş macunu elde etme aşamalarında her bir malzeme için ayrı abeslang ve enjektör kullanılmıştır.

- Steril, boş bir kap teraziye konularak darası alınmıştır.
- Steril kabın içine abeslang kullanılarak 30 gram olana kadar meşe palamudu tozu eklenmiştir.
- Terazi sıfırlanmış ve kabın içerisine abeslang kullanılarak 25 gram olana kadar karbonat ilave edilmiştir.
- Ayrı steril enjektörler kullanılarak sırasıyla 1,9 cc limon yağı, 1,9 cc bergamot yağı ve 15 cc gliserin kaba eklenmiştir (bkz. Şekil 4).

Şekil 5'te hazırlanan karışım 2-3 dakika boyunca istenilen kıvama gelene kadar abeslang kullanılarak karıştırılmıştır. Bu süreç boyunca çapraz bulaşma riskini ortadan kaldırmak için kullanılan malzeme ve araçlar glüten içeren hiçbir maddeyle temas etmemiş ve steril olarak kullanılmıştır. Hazırlanan diş macunu analizlerde kullanılmak üzere, oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir (bkz. Şekil 6). Glütensiz diş macunu elde etme yöntemi sonucunda 70 gr madde elde edilmiştir.



Şekil 4. Diş macunu bileşenlerinin tartılması.



Şekil 5. Diş macununun karıştırılarak kıvam almış hali.



Şekil 6. Diş macunlarının steril kaplara aktarılması ve, oda sıcaklığında bekletilmesi.

2.4 Glüten ve Antibakteriyel Analiz-Mikroorganizma Gelişimi

2.4.1 Glüten Analizi

Glüten analizi, R- Biopharm RIDASCREEN Gliadin alerjen test kiti kullanılarak ELISA yöntemiyle yapılmıştır.

2.4.2 Antibakteriyel Analiz-Mikroorganizma Gelişimi

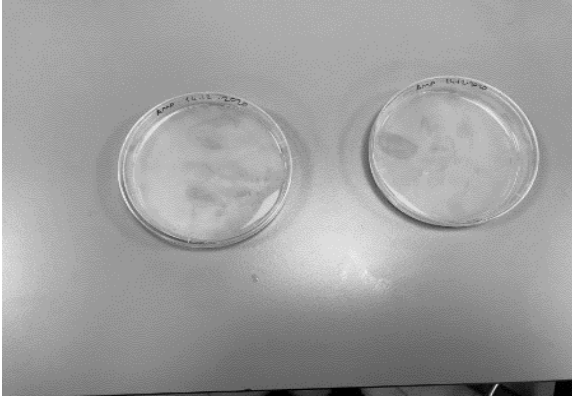
Çalışmanın antibakteriyel test süreci için mikrobiyoloji laboratuvarı kullanılarak Agar Plakada (Plate) Büyütme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

LB Agar Plaka (Plate) Hazırlama

- 20 g/L agar
- 10g/L NaCl (Sigma-Aldrich S9625)
- 10g/L Tryptone (BD 211705)

5 g/L Yeast extract (BD 212750) karıştırılmış ve üzerine 1 litreye tamamlanacak şekilde H₂O eklenmiştir. Karışım pH'ının 7 olarak ayarlanması için 5 mol NaOH eklenmiş ve hazırlanmış olan karışım 121°C olacak şekilde otoklav cihazında 15-20 dakika bekletilerek sterilize edilmiştir. Karışım soğuduktan sonra üzerine 100 µL ampisilin eklenmiştir. Ampisilin eklenme nedeni ağız florasında bulunan bakterilerin ampisiline doğal dirençli olduğunun bilinmesidir (Diren 2002).

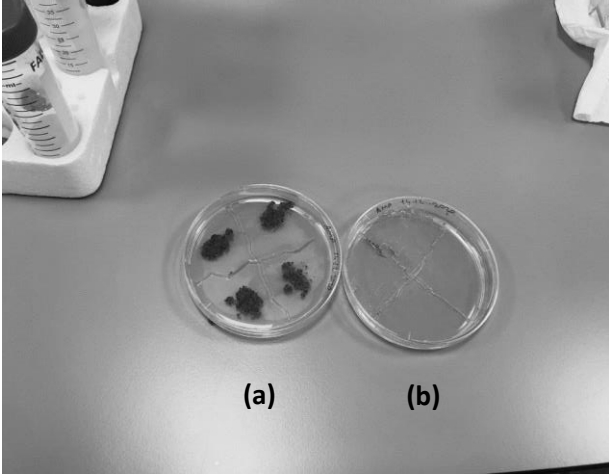
Hazırlanmış olan ampisilinli LB agar Şekil 7'de petri kaplarına yayılmış ve katılaşması beklenmiştir. Katılaştıktan sonra petrilerin etiketlenmesi yapılmıştır.



Şekil 7. Ampisilinli LB Agar karışımının yayılması.

• Şekil 8’de (a) petri kabındaki agar plaka pipet ucu ile dörde ayrılarak üzerlerine hazırlanmış olan diş macunu yayılmıştır.

• Şekil 8’de hazırlanmış olan (b) petri kabında ise agar plakaya herhangi bir işlem yapılmamış ve kontrol grubu olarak belirlenmiştir.



Şekil 8. Deney (a) ve kontrol grubunun (b) oluşturulmuş hali.

3. Bulgular

Yapılan çalışmada hazırlanan diş macunu karışımına glüten analizi ve antibakteriyel analiz uygulanmıştır.

3.1 Glüten Analiz Bulguları

Çizelge 2’de R- Biopharm RIDASCREEN Gliadin alerjen test kiti kullanılarak ELISA yöntemiyle yapılan glüten analizi sonucunda diş macununda glüten tespit edilmemiştir.

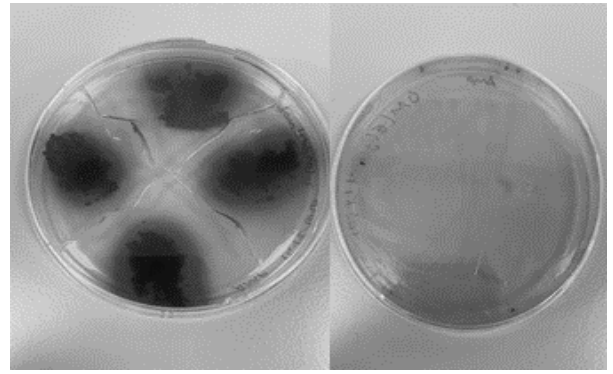
Çizelge 2. Glüten Analiz Bulgusu.

Analiz	Sonuç	Birim	Metot
Glüten Analizi	Tespit Edilemedi	mg/kg	R-Biopharma RIDASCREEN Gliadin ELISA

Yapılan validasyon çalışmalarında tekrarlanabilirlik ve tekrar üretilebilirlikten gelen ölçüm belirsizliğinin k=2 sabit faktörü ile çarpımı sonucu genişletilmiş ölçüm belirsizliği hesaplanmıştır. Validasyon çalışmalarının sonucu olarak, analiz sonuçlarımız k=2 %95 güven aralığındadır.

3.2 Antibakteriyel Analiz- Mikroorganizma Gelişim Bulguları

Hazırlanmış olan diş macununun antibakteriyel etkisini incelemek üzere, agar plakada büyütme yöntemi gerçekleştirilmiştir. Deney ve kontrol grubunu içeren petri kapları 24 saat boyunca 37°C’de inkübe edildikten sonra elde edilen bulgularda Şekil 9’da herhangi bir koloni oluşumu saptanmamış, mikroorganizma gelişimi görülmemiştir.



Şekil 9. 24 saat inkübe edildikten sonra deney grubu (a) ve kontrol grubu (b) petri kaplarının son hali.

4. Tartışma ve Sonuç

Araştırma kapsamında yapılan deneylerin sonuçları şöyle sıralanabilir.

Toplanan meşe palamutları kurutulup öğütülerek toz haline getirilmiş ve hazırlanan diş macununda ham madde olarak kullanılmıştır. Kullanılan meşe palamudu ham maddesinin glüten içermediğini kanıtlamak amacıyla ELISA gliadin alerjen test kiti ile immünolojik glüten tayini yapılmış ve elde edilen diş macununda glüten tespit edilmemiştir.

Diş macunu içeriğine aroma vermesi ve mikroorganizma üzerine etkisini incelemek amacıyla limon ve bergamot yağları kullanılmıştır. Agar plakada büyütme yöntemiyle ampisilinli LB agar üzerine diş macunu karışımı eklenerek 24 saat boyunca gözlem yapılmış ve herhangi bir koloni oluşumu saptanmamıştır.

Literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırma yapıldığında Korus vd. (2015) ve Martins vd. (2020) glütensiz ekmeğin üretimi ve analizi çalışmalarında benzer bir şekilde ham madde olarak meşe palamudunu kullanmışlardır. Fakat literatürde diş macunlarında kil ham maddesi yerine farklı bir ham madde kullanarak glütensiz diş macunu formülasyonu oluşturulmasına yönelik herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu araştırma kapsamında ise çölyak hastaları ve glüten duyarlılığı olan bireylerin kullanımına uygun glütensiz diş macunu formülasyonunun geliştirilmesi için ham madde olarak meşe palamudu kullanılması, elde edilen diş macununun glütensiz olduğunun kanıtlanması ve antibakteriyel etki göstermesi literatürde belirtilen alandaki boşluğu kapatmaya destek sağlar niteliktedir. Bu çalışmada limon ve bergamot yağının ampisilinli LB agar üzerinde antibakteriyel etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ampisilin ağız florasında bulunan bakterilerin doğal direnç gösterdiği bir antibiyotik olduğu için tercih edilmiştir (Diren 2002). Benzer olarak, Saeb vd. (2016) ve Hojjati ve Bargezar (2017) tarafından yapılan çalışmalarda *Staphylococcus aureus* (ağız florasında çoğunlukla bulunan bakteri çeşidi) bakterileri üzerine limon yağının antibakteriyel etkisi araştırılmış ve limon yağının mikroorganizma gelişimini inhibe ettiği görülmüştür.

Bascunan vd. (2017) yaptıkları çalışmada günlük hayatta kullanılan bazı ürünler potansiyel olarak zararlı seviyelerde glüten içerebileceği ve bu ürünlerin yutulabilen ilaçlar, diş macunları, ağız çalkalama suları ve kozmetik ürünler olabileceği açıklanmıştır. Benzer bir şekilde Verma vd. (2019) tarafından yapılan araştırmada glütenin sadece gıdalarda değil kişisel bakım ürünleri, diş macunu, ağız gargarası, sabun, ruj, dudak parlaticısı ve dudak balsamı gibi ürünlerde de bulunabileceği ifade edilmiştir. Literatürde bu ifadelerin yer almasına rağmen, diş macunu gibi kişisel bakım ürünlerinde

glüten içermeyen herhangi bir ürün sentezinin yapıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Diş ekipmanları ve ağız bakım ürünleri gibi ağızda kullanılmak üzere üretilmiş gıda dışı maddeler, yüksek yutma riski bulundurmaktadır. Yutulmuş az miktarda glütenin bile devam eden semptomlara neden olabileceği bilinmektedir (Memon *et al.* 2013). Literatürde yer alan bu çalışmalara bakıldığında Türkiye’de glütensiz ürün sentezine yönelik yeterli çalışma bulunmadığı, uluslararası çalışmaların ise kişisel bakım ürünlerinde glüten, bulunmaması gerektiği bilgisiyle sınırlı kaldığı görülmüştür. Yaptığımız çalışma kapsamında üretilen diş macunu ve bugüne kadar yapılmış diğer çalışmaların önderliğinde çölyak hastaları ve glüten duyarlılığı olan bireyler için meşe palamudu ham maddesinin kişisel bakım ürünlerinde de kullanılması bu bireylerin yaşam kalitesini arttıracaktır.

5. Kaynaklar

- Bakkalbaşı, E., 2012. Tanenlerin Kimyası, Gıdalardaki Varlığı Ve Gıda İşlemenin Tanenler Üzerine Etkisi. *Akademik Gıda Dergisi*, **10(2)**, 96-108.
- Bascunan, K., Vespa, M. C. and Araya, M., 2017. Celiac Disease: Understanding The Glüten-Free Diet. *European Journal Of Nutrition*, **56**, 449-459.
- Dağ, C. and Özalp, N., 2013. Ağız-Diş Sağlığının Vazgeçilmezi: Diş Macunları. *Acta Odontol Turc*, **30(3)**, 149-156.
- Diren, Ş., 2002. Antibiyogram Yorumu. Çocuklarda Akılcı Antibiyotik Kullanımı Sempozyum Dizisi. 33:19-24.
- Durlu Özkaya, F., Akbulut, B. A. and Tulga, D., 2017. Gastronomi Turizmi Engelleri Kapsamında Çölyak. *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*, **9(16)**, 213-228.
- Durna, D. and Kolukisa, H., 2020. Halk Hekimliği Üzerine Yapılmış Lisansüstü Tezlerde Diş Tedavilerine Yönelik Uygulamaların Tespiti Ve Bu Uygulamaların Diş Hekimliği Temelinde Değerlendirilmesi. *Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü Dergisi*, **69**, 357-386.
- Ercan Devrimci, E. and Türkün, L., 2020. Diş Macunu Seçimi Neye Göre Yapılmalı?. *Türkiye Klinikleri*, **1**, 23-30.

- Hojjati, M. and Barzegar, H., 2017. Chemical Composition And Biological Activities Of Lemon (Citrus limon) Leaf Essential Oil. *Nutrition And Food Sciences Research*, **4(4)**, 15-24.
- Karaahmet, F., 2018. Çölyak Hastalığında Teşhis Süresi. *Ege Tıp Dergisi*, **57(4)**, 228-231.
- Karaca, M., Özbek, H., Him, A., Tütüncü, M., Akkan, H. A. and Kaplanoğlu, V., 2007. Investigation Of Anti-Inflammatory Activity Of Bergamot Oil. *European Journal Of General Medicine*, **4(4)**, 176-179.
- Korus, A., Gumul, D., Krystyjan, M., Juszcak, L. and Korus, J., 2017. Evaluation Of The Quality, Nutritional Value And Antioxidant Activity Of Glüten-Free Biscuits Made From Corn-Acorn Flour Or Corn-Hemp Flour Composites. *European Food Research And Technology*, **243(8)**, 1429-1438.
- Korus, J., Witczak, M., Ziobro, R. and Juszcak, L., 2015. The Influence Of Acorn Flour On Rheological Properties Of Glüten-Free Dough And Physical Characteristics Of The Bread. *European Food Research Technology*, **240**, 1135-1143.
- Martins, R. B., Gouvinhas, I., Nunes, M. C., Peres, J. A., Raymundo, A. and Barros, A., 2020. Acorn Flour As A Source Of Bioactive Compounds In Glüten-Free Bread. *Molecules Journal*, **25(16)**, 2-19.
- Memon, Z., Baker, S., Han, A., Hashmi, H. and Gelfond, D., 2013. An Orthodontic Retainer Preventing Remission In Celiac Disease. *Clinical Pediatrics*, **52(11)**, 1034-1037.
- Pernice, R., Borriello, G., Ferracane, R., Borrelli, R. C., Cennamo, F. and Ritieni, A., 2009. Bergamot: A Source Of Natural Antioxidants For Functionalized Fruit Juices. *Food Chemistry*, **112 (3)**, 545-550.
- Saeb, S., Amin, M., Gooybari, R. S. and Aghel, N., 2016. Evaluation Of Antibacterial Activities Of Citrus Limon, Citrus Reticulata, And Citrus Grandis Against Pathogenic Bacteria. *International Journal of Enteric Pathogens*, **4(4)**, 1-5.
- Sharma, G., Williams, K., Rallabhandi, P., Herrmann, M. and Sadrieh, N., 2016. Glüten Quantitation In Cosmetic Products By Enzyme-Linked Immunosorbent Assay. *Journal Of AOAC International*, **99**, 586-590.
- Silva, S., Costa, E. M., Borges, A., Carvalho, A. P., Monteiro, M. J., & Pintado, M., 2016. Nutritional Characterization Of Acorn Flour (A Traditional Component Of The Mediterranean Gastronomical Folklore). *Journal Of Food Measurement And Characterization*, **10**, 584-588.
- Tayfun, K., 2019. Aromaterapi. *Journal Of Biotechnology and Strategic Health Research*, **3**, 67-73.
- Topaloğlu, K., 2019. Glütensiz Bisküvi Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 63.
- Verma, A., Lionetti, E., Gatti, S., Franceschini, E., Catassi, G. N. and Catassi, C., 2019. Contribution Of Oral Hygiene And Cosmetics On Contamination Of Glüten-Free Diet-Do Celiac Customers Need To Worry About?. *Journal Of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, **68(1)**, 26-29.
- Vinha, A. F., Barreira, J., Costa, A. and Oliveira, M., 2016. A New Age For Quercus Spp. Fruits: Review On Nutritional And Phytochemical Composition And Related Biological Activities Of Acorns. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, **15(6)**, 947-981.

Araştırma Makalesi / Research Article

Emet Bor Üretim Tesisleri Atıklarının Lityum İçeriğinin İncelenmesi

Hacer ŞENSÖZ¹, Zehra Ebru SAYIN², Mehmet SAVAŞ³, Yunus ERDOĞAN⁴¹ Pamukkale Üniversitesi, Kale Meslek Yüksek Okulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Kale/Denizli² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.³ Eti Maden İşletmeleri Emet Bor İşletme Müdürlüğü Emet/Kütahya⁴ Dumlupınar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kütahya.

Sorumlu yazar; e-posta: zerkan@aku.edu.tr
hsensoz@pau.edu.tr
msavas69@hotmail.com
yunus.erdogan@dpu.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1949-3127>
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2173-8974>
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8780-1091>
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0383-0793>

Geliş Tarihi: 05.05.2021

Kabul Tarihi: 21.12.2021

Öz

Bu çalışmada, Dünya'da ki en fazla bor yataklarına sahip Türkiye'de yer alan Kütahya Emet bölgesi bor minerali zenginleştirme sürecinde oluşan atıkların lityum içeriği incelenmiştir. Numuneler Hisarcık konsantratör atık barajından, Espey konsantratör atık barajından, Espey konsantratör -25 mm katı atıktan, Hisarcık konsantratör -25 mm katı atığından ve 2.Borik Asit Fabrikası kek jips atık filtre çıkış noktasından olmak üzere 5 ayrı atık yerinden numune alınmıştır. Yapılan kimyasal analizler sonucunda, Hisarcık konsantratör tesisi -25 mm kalibreli elek çıkışından alınan numunede ki lityum tenörünün 648/588 ppm aralığında olması nedeniyle lityum üretim yöntemi belirlenmesi çalışmasında en uygun inceleme yerinin Hisarcık konsantratör -25 mm katı atık çıkışı olduğu kararına varılmıştır. Çalışmanın devamında numune suda bekletilerek elenmiştir. Eleme sonucu, 4 mm'nin üstünde numunenin %18'inin kaldığı ve B₂O₃ tenörü ise %30 olarak analiz edilmiştir. Tane boyutu küçüldükçe %B₂O₃ tenörü azalmaktadır ve 45 mikron altında %1,57 B₂O₃ olduğu tespit edilmiştir. 4 mm'nin altındaki katı atık numunesi içerisinde lityumun %76'sının 212 mikron tane boyutu altında ve 2.000 ppm lityum tenörü üzerinde olduğu ve ağırlıkça %40'ında ise lityumun %66'sının bulunduğu tespit edilmiştir. Eleme yönteminin lityumun zenginleştirme çalışmalarında önemli bir basamak olduğu kanaatine varılmıştır.

Anahtar kelimeler

Bor; Lityum; Kil; Atık;
Zenginleştirme;
Kolemanit

Investigation of Lithium Content of Emet Boron Production Plants Wastes

Abstract

In this study, the lithium content of the wastes generated during the enrichment process of the boron mineral in the Kütahya Emet region in Turkey, which has the highest boron deposits in the world, was examined. Samples were taken, from the waste dam of the Hisarcık concentrator, the waste dam of the Espey concentrator, the Espey concentrator -25 mm solid waste, the Hisarcık concentrator -25 mm solid waste and the cake jips waste filter outlet point of the 2nd Boric Acid Factory. As a result of the chemical analysis, it was decided that the most appropriate examination place in the study of determining the lithium production method was the Hisarcık concentrator -25 mm solid waste outlet, since the lithium grade in the sample taken from the -25 mm caliber sieve outlet was in the range of 648/588 ppm. In the continuation of the study, the sample was sieved. As a result of sieving, 18% of the sample above 4 mm remained and the B₂O₃ grade was analyzed as 30%. The B₂O₃ grade decreases as the grain size gets smaller and it was analyzed as 1.57 %B₂O₃ under 45 microns. It has been determined that 76% of lithium is under 212 micron grain size and above 2.000 ppm lithium grade in solid waste sample below 4 mm and 66% of lithium is found in 40% by weight.

Keywords

Boron; Lithium;
Clay; Waste;
Enrichment;
Colemanite

1. Giriş

Türkiye’de ekonomik değere sahip lityum kaynağı halihazırda bulunmamaktadır. Ancak, bor yataklarının belirli oranlarda lityum içerdiği çeşitli araştırmalarda bahsedilmiştir (Çolak vd. 2000, Ertan ve Erdoğan 2014, Akgök ve Şahiner 2017). Bu sahalarda, bor içeriği ile lityum içeriği arasında ters bir ilişki olduğu görülmüş ve tane boyutu azaldıkça lityum içeriğinin arttığı tespit edilmiştir (Akgök ve Şahiner 2017). Dünya bor rezervlerinin %73’üne sahip olan Türkiye’de bilinen bor yatakları; Eskişehir-Kırka, Kütahya-Emet, Balıkesir-Bigadiç, Bursa-Kestelek’te bulunmaktadır (İnt Kyn. 1). Bu bilgilerin ışığında, lityum üretim teknolojisinin geliştirilerek düşük tenörlü lityumun kazanım olanaklarının mutlaka gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Salamuralardan lityum kazanımı, bilinen yöntemlerden maliyeti en az olanı ve en az zahmetlisidir. Lityum kazanımı için gerekli olan lityum içeriği de mineraller ve killerden kazanımına göre çok daha azdır. Ancak salamuralardan lityum kazanımı için en önemli parametre Mg/Li oranı olup, bu oranın en çok 6/1 olması istenmektedir (Yıldız 2016). Bu oran arttıkça üretim maliyeti de artmaktadır. Bununla birlikte 2000’li yılların başında Kuzeybatı Çin’de Qaidam Havzası’ndaki oldukça büyük salamuraların değerlendirilmeye başlanmasından sonra yüksek magnezyum içerikli salamuraların işlenmesi ve değerlendirilmesi ile ilgili önemli teknik gelişmelerde olmuştur (Akgök ve Şahiner 2017). Lityumun gelecek vadeden bir element olması ve kullanımının gittikçe artması nedeniyle bor atıklarından lityum kazanım çalışması önem arz etmektedir.

Birçok endüstri dalında kullanım alanı bulunan bor cevherleri, içerisinde genellikle smektit kil minerallerinin yanı sıra kalsit ve dolomit gibi karbonatlar bulunduğundan yıkama, dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirilebilmektedir. Bu nedenle, kolemanit cevheri zenginleştirme sürecinde oluşum ve teknolojisi gereği yaklaşık %50’lere varan atık ortaya çıktığı bilinmektedir. Bu atıkların bir miktarı katı olarak sahalarda, bir miktarı ise, şlam olarak atık

barajlarında depolanmaktadır. Atıkların içerisinde ki lityum, rubidyum ve sezyum elementlerinin varlığı çeşitli araştırmalarda belirtilmiştir (Mordoğan ve Helvacı 1994, Erdoğan vd. 1998, Helvacı vd. 2004).

Çolak vd. (2000), Hisarcık simektitlerinin Li içerikli saponit olduğunu ve % 0,56-0,58 aralığında Li₂O içerdiğini, Espey simektitlerinin de Li içerikli saponit olduğunu ve Li₂O değerinin % 0,24-0,60 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Helvacı (2018) ve Helvacı vd. (2004) Türkiye’deki bor havzalarını incelemiş ve yapılan analizlerde, Emet bölgesinde bulunan Hisarcık ve Espey ocaklarında ardalanım gösteren killer ve atıkların Li₂O değerlerinin sırasıyla % 0,58 ve % 0,17 olduğunu tespit etmişlerdir. Lityumun kile bağlı olduğunu ve Türkiye bor yataklarında baskın olarak kil minerallerine bağlı (hektorit tipi smektitler) bulunduğunu belirtmişlerdir.

Dünya’daki lityum kaynaklarını; %58 kapalı havza çözeltileri, %26 pegmatitler ve ilişkili granitler, %7 lityumca zengin killer, %3 petrol sahalarındaki çözeltiler, %3 jeotermal çözeltiler ve %3 lityumca zengin zeolitler oluşturmaktadır (Swain 2017).

Lityumun ana kaynakları kil, göl, deniz, mineral ve tuzlu yeraltı suları olup, bu kaynakların içerisinde ekonomik olarak lityum üretimi yalnızca mineraller ve salamuralardan yapılmaktadır (Kamienski *et al.* 2000).

Lityum, alkali bir element olmasıyla birlikte doğada serbest olarak bulunmaz (Garrett, 2004). Genellikle iyonik bileşikler halinde bulunur. Bu yüzden kolay bir şekilde reaksiyona girebilir ve kolay alev alabilir (Krebs, 2006).

Şarj edilebilir lityum iyon pillerin sergiledikleri yüksek enerji yoğunlukları (enerji depolama özelliği) sebebiyle ve toksik olmamaları nedeniyle elektronik aletlerde, cihazlarda, taşıtlarda, cep telefonu, diz üstü bilgisayarlar ve küçük ev aletlerinde kullanımı ve bunlarla birlikte salgıladıkları düşük seviyedeki CO₂ gazı salınımı ile çevre bilincine sahip tasarımcılar ve tüketiciler tarafından tercih edilmektedirler

(Polat ve Keleş, 2012). Bu şekilde kullanım performansı, sektörlerdeki öneminin kavranması lityum değerini daha da artıracaktır. Lityum iyon pillerin önemi azalan enerji kaynakları ile artan depolama sistemlerine olan ihtiyaç, yakın gelecekte yüksek şarj-ağırlık kapasitesi nedeniyle hafif araç motorlarının elektrikli olması ve böylece elektrikli arabaların üretiminin de artmasıyla daha da artacaktır (Hocking *et al.* 2016, Swain 2017, İnt Kyn. 2, Brenner 1963, Hamzaoui 2003, Goonan 2012, Manthiram 2017). Bu bağlamda şarj edilebilir piller lityumun en büyük potansiyel büyüme alanını oluşturmaktadır. Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar Kurumu (USGS) lityumun kullanım alanlarını; pillerde % 71, seramik ve cam % 14, yağlama gresleri % 4, kalıp eritme tozları % 2, polimer üretimi % 2, havacılık % 1 ve diğerlerini % 6 olarak sıralamıştır (İnt Kyn. 2).

Dünyadaki bu gelişmeler ışığında; ülkemizin geleceği adına var olan lityum elementinin etkili ve verimli bir şekilde, uygun teknolojiler ile çıkarılması önem arz etmektedir. Bor atıklarında var olan yüksek miktardaki lityum metalinin kazanılması, etkili kullanılması ve katma değerli ürünlere dönüştürülmesi geleceğimize yatırım olacaktır.

Bu amaç doğrultusunda Eti Maden Emet Bor İşletmesi Hisarcık ve Espey kolemanit zenginleştirme ve borik asit tesislerinden çıkan katı atıklardan verimli şekilde lityum elde edilmesi ve değerlendirme olanakları incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Deneylerde kullanılan numuneler Eti Maden Emet Bor İşletmesi Hisarcık ve Espey üretim alanlarında ki katı atıkların tesisten çıkış noktaları temel alınarak temin edilmiş, öncelikle lityum içeriği bakımından incelenmiştir. Numuneler Hisarcık konsantratörün atık barajından, Espey konsantratörün atık barajından, Espey konsantratör -25 mm katı atıktan, Hisarcık konsantratör -25 mm katı atığından ve 2.Borik Asit Fabrikası kek jips atık filtre çıkış noktasından olmak üzere, numune alma şartlarına uygun olarak 5 ayrı atık yerinden numune alınmıştır.

Numuneler düz bir zemine serilerek kurutulmuş (Şekil 1), harmanlanmış numune bölücünden geçirilerek azaltılmıştır. Deneysel çalışmalar için Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiştir. Öncelikle numuneler 65°C'de 2 saat süreyle kurutulduktan sonra konileme-dörtleme ve Jones Riffle Tip numune bölücü kullanılarak tekrar azaltma işlemlerine tabi tutulmuştur. Azaltılan numuneler halkalı değirmende öğütülerek analizler için hazırlanmıştır.



Şekil 1. Hisarcık konsantratör tesisi numune alma ve hazırlama işlemleri.

5 adet numune örneğinin genel kimyasal analiz ile değerlendirilmesinin ardından lityum içeriği en yüksek olan numuneye detaylı kimyasal analiz, elektrik metal analizi yapılmıştır. AKÜ Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM)'nde Bruker Marka D8 Advance Model X Işınları Kırınımı (XRD) cihazı ile mineralojik analiz yaptırılmıştır. Analizlerde nadir toprak elementleri özellikle araştırılmıştır.

Besleme malı, Çizelge 1'de verilen elekler ile elenerek tane boyut dağılımları ve Eti Maden Laboratuvarlarında kimyasal analizleri yaptırılmıştır.

Çizelge 1. Numunenin Eleme Kodları

Tane Fraksiyonu, mm	Kod	Tane Fraksiyonu, mm	Kod	Tane Fraksiyonu, mm	Kod
+11	E1	-1+0,5	E5	-0,063+0,045	E9
-11+4	E2	-0,5+0,212	E6	-0,045	E10
-4+2	E3	-0,212+0,125	E7	Besleme Malı	BM
-2+1	E4	-0,125+0,063	E8		

3. Bulgular

Tesisin 5 ayrı yerinden alınan numuneler ilk olarak Çizelge 2 ve 3'de verilen kimyasal analizler ile

değerlendirilmeye alınmıştır. Hisarcık konsantratör atık barajından, Espey konsantratör atık barajından, Espey konsantratör -25 mm katı atık alanından, Hisarcık konsantratör -25 mm katı atık alanından ve Borik Asit Fabrikası 2 (BAF 2) filtre kek atık çıkışından alınan numunelerin kimyasal analiz sonuçları incelenmiştir. Sonuçlar, Hisarcık konsantratör atık barajının lityum tenörü iki farklı laboratuvarda yapılan analiz sonucu 626/575 ppm olduğu, Hisarcık konsantratör -25 mm katı atık için lityum tenörünün ise 648/588 ppm olduğu tespit edilmiştir. Nadir toprak elementlerinin tesis içerisinde olası kazanım yerinin ve tane boyutunun belirlenmesi amacıyla yapılmış olan çalışmada en uygun inceleme yerinin Hisarcık konsantratör -25 mm katı atık çıkışı olduğu kararına varılmıştır.

Borik Asit Fabrikası 2 (BAF 2) filtre kek atığında %2,27 tenöre sahip SrO bileşiğinin bulunduğu da tespit edilmiştir. Diğer numunelere nispeten bu alanda stronsiyum oksit tenörünün artış göstermesi farklı araştırmalarda değerlendirilebilir.

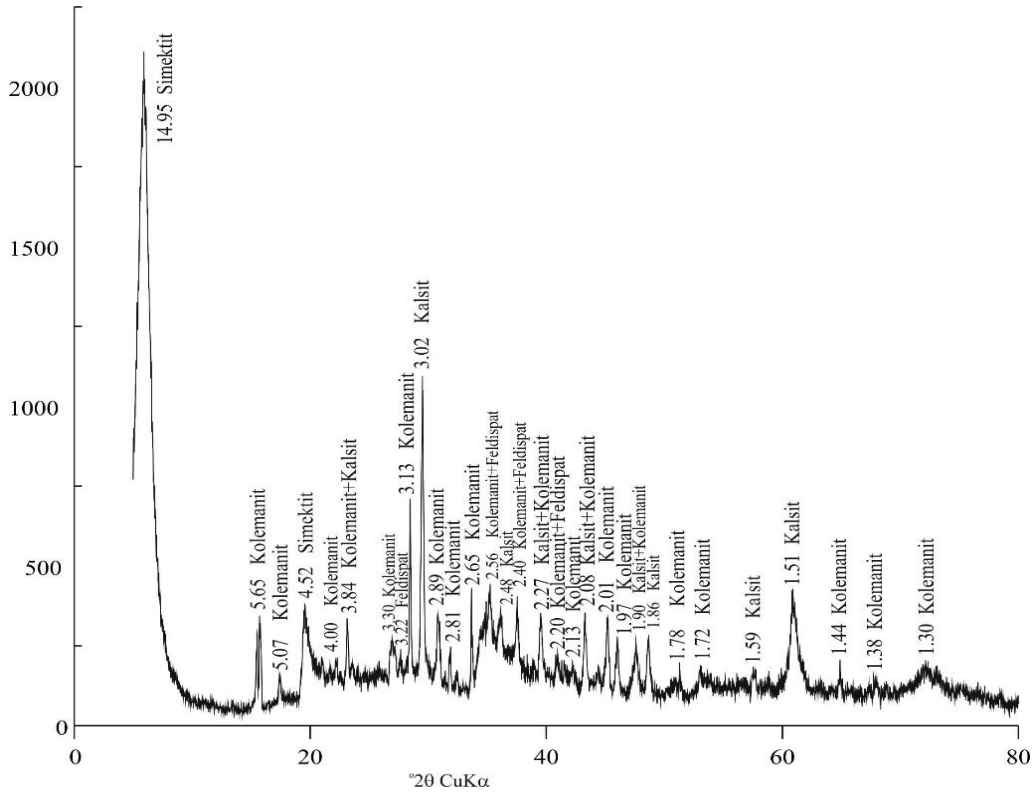
Hisarcık açık işletmesinden elde edilen ortalama % 28,50 B₂O₃ tenör değerine sahip tüvenan cevher, açık işletme yakınında bulunan Hisarcık konsantratör tesisinde zenginleştirilmektedir. Çalışmada kullanılan Hisarcık konsantratör -25 mm katı atık numunesi, tesise girişte kalibreli elek altında biriken stoktan tarama metoduyla alınarak harmanlanmıştır ve bu katı atık numunesinin B₂O₃ tenörü ise analizler sonucunda %20,70/22,10 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Kimyasal Analiz Sonuçları (Oksitli Bileşikler) (Eti Maden Laboratuvarları)

Bileşik Adı / Numune Adı	B ₂ O ₃ %	K ₂ O %	MgO %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	SO ₄ %	Fe ₂ O ₃ %	As ₂ O ₃ %	Na ₂ O %	SrO %	CaO %	Kaba Nem %
BAF-2 Filtre Kek	3,24	1,15	1,69	1,55	8,40	40,55	0,77	0,340	0,040	2,22	27,7	38,801
Hisarcık Atık Barajı	24,20	1,05	7,71	2,23	15,90	2,54	1,01	1,43	0,030	0,81	15,40	27,771
Hisarcık -25 katı atık	20,70	2,31	10,20	4,17	24,70	1,13	1,72	0,77	0,046	0,79	13,5	14,437
Espey Atık Barajı	25,50	2,79	6,16	7,88	24,40	0,33	3,30	0,32	0,131	0,69	9,83	24,955
Espey -25 katı atık	14,50	4,35	6,27	11,10	33,40	0,26	5,01	0,22	0,177	0,67	6,32	21,798

Çizelge 3. Kimyasal Analiz Sonuçları (Eti Maden Laboratuvarları)

Numuneler	% B ₂ O ₃	Li, ppm (iki ayrı laboratuvar sonuçları)
BAF-2 Filtre Kek	0,81	123 - 114
Hisarcık konsantratör atık barajı	20,50	626 - 575
Hisarcık konsantratör -25 mm katı atık	22,10	648 - 588
Espey konsantratör atık barajından	22,94	368 - 314
Espey konsantratör -25 mm katı atık	13,32	449 - 373

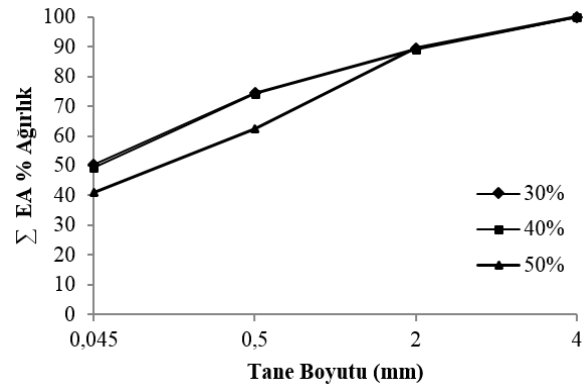


Şekil 2. Numunenin XRD grafiği.

Kolemanit mineralinin X-ışınları çalışmaları (Şekil 2) sonucu 3.13 Å da karakteristik oldukça şiddetli ve kristalinitesi yüksek olan bir piki gözlenmiştir. Ayrıca kolemanit minerali için tipik olan diğer pikler de tespit edilmiştir. Belirtilen piklerin yanı sıra kalsit, feldispat mineraline ait pikler bu minerallerin tanımlanmasında kullanılmıştır. Değerlendirilen mineralojik yapının, kolemanit ile önemli miktarda kalsit, simektit ve feldispat içerdiği belirlenmiştir.

Katı atık içerisindeki topaklanmış tanelerin dağıtılarak uygun şekilde sınıflandırılması amacıyla Heidolph RZR 2021 marka mekanik karıştırıcı vasıtasıyla açma/dağıtma yapılmıştır. Açma/dağıtma deneylerinde; mekanik karıştırıcı pervane tipi ve pervane taban yüksekliği sabit tutulup, pervane dönüş hızı (1000, 1200, 1500 devir/dk), karıştırma süresi (15, 30, 45 dk), katı sıvı oranı (%30, %40, %50) şeklinde değiştirilerek optimum çalışma koşulları araştırılmıştır. Numune, mekanik karıştırıcıya beslenmeden önce 12 saat süreyle suda bekletildikten sonra, sırasıyla önce 11 mm ve sonra 4 mm açıklıklı eleklerden elenmiştir. 4 mm'nin altına geçen numune ise mekanik karıştırıcıda açma/dağıtma çalışmasına, ardından 2 mm, 0,5 mm ve 0,045 mm elek açıklığındaki kontrol

elekleri ile eleme çalışmalarına tabi tutulmuştur. Çalışmada; 1500 devir/dk pervane dönüş hızında, % 40 katı sıvı oranında, 45 dk karıştırma süresinde optimum çalışma koşullarına ulaşılmıştır. Çalışmaya ait grafik Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. 45 dk karıştırma süresinde tane boyutuna bağlı Σ EA % Ağ eğrisi

Mekanik karıştırmada açma/dağıtma çalışmalarının ardından numune, belirlenen elek serisinde yaş elek analizine tabi tutulmuştur. Eleme ile elde edilen fraksiyonlar etüvde 65°C'de kurutulmuş ardından Eti Maden Laboratuvarlarında kimyasal analizleri yaptırılmıştır (Çizelge 4).

Elde edilen sonuçlar lityum tenörünün besleme malında analiz ile 1.272 ppm (hesap ile 1.279 ppm) Li olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 11 mm tane boyutu üstündeki lityum tenörü 65,12 ppm iken tane boyutunun küçülmesiyle lityum tenörünün arttığı ve 45 mikron tane boyutu altında 2.131 ppm'e ulaştığı tespit edilmiştir. Numunenin bu tane fraksiyonunda yaklaşık olarak ağırlıkça %40'ı bulunmaktadır. 4 mm tane boyutunun üstünde numunenin %18'i kalmaktadır ve B₂O₃ tenörü ise %30 olarak analiz edilmiştir. B₂O₃ tenörü tane boyutu küçüldükçe azalmaktadır ve 45 mikron altında %1,57 B₂O₃ olarak analiz edilmiştir. Bununla birlikte MgO, SiO₂ ve Al₂O₃ oranının ise tane boyutu küçülmesi ile arttığı ve 45 mikron altında en yüksek tenöre ulaştığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5'de verilen elek metal analizi sonuçları incelendiğinde benzer sonuçlar ile birlikte katı atık numunesi içerisindeki lityumun %76'sının tane boyutunun 212 mikron altında ve tenörü 2.000 ppm üzerinde olduğu ve ayrıca toplam malzemenin ağırlıkça %40'ında ise lityumun %66'sının bulunduğu tespit edilmiştir.

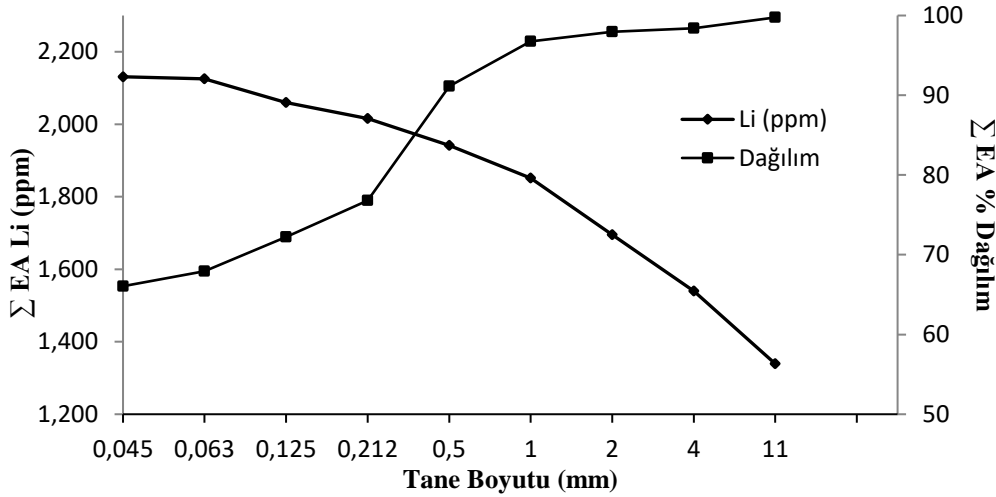
Tane boyutuna bağlı, Σ EA Li (ppm) tenörü ve % dağılım eğrilerinden (Şekil 4) de görüleceği üzere tane boyutu küçüldükçe lityum tenörünün arttığı bununla birlikte 0,045 mm tane boyutu altında lityum %66'lık bir oranla bulunduğu görülmektedir.

Çizelge 4. Kimyasal analizi (Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi, AAS)

Numune Kodları											
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	BM
Kimyasal Bileşen											
Ağırlık, %	4,72	13,5	7,87	7,08	6,80	11,31	3,89	3,97	1,22	39,65	
LOI, %	25,6	29,5	31,4	28,9	22,9	19,7	19,8	19,8	17,7	16,5	23,9
B₂O₃, %	37,8	27,7	21,8	15,50	15,40	10,40	11,90	12,40	10,60	1,57	13,6
Li, ppm	65,12	122	85,66	213	1.056	1.624	1.502	1.388	1950	2.131	1.272
Cl, %	0,0050	0,0095	0,0150	0,0132	0,0086	0,0104	0,0155	0,0105	0,0499	0,0490	0,0060
MgO, %	3,63	6,77	5,52	6,67	14,9	15,8	18,1	18,0	17,3	19,5	16,5
Al ₂ O ₃ , %	0,776	1,07	1,05	1,27	1,65	2,89	2,24	2,14	2,42	3,17	2,38
SiO₂, %	5,69	10,7	8,46	12,2	25,5	34,6	35,7	28,7	31,4	48,6	32,9
P ₂ O ₅ , %	-	-	-	-	0,0557	0,0690	0,0712	0,0774	0,0967	0,0994	0,0615
SO ₄ , %	0,505	1,19	1,20	1,29	1,04	0,969	1,21	1,42	1,71	1,16	0,964
K ₂ O, %	0,0748	0,241	0,179	0,507	0,378	0,668	0,398	0,771	1,12	1,21	0,430
CaO, %	24,6	21,2	28,8	31,6	17,1	12,60	8,83	13,9	13,9	5,53	8,23
TiO ₂ , %	0,0082	-	0,0158	0,0271	0,0754	0,122	0,0666	0,111	0,139	0,125	0,0510
MnO, %	0,0221	0,0293	0,0357	0,0444	0,0162	0,0331	0,0227	0,0349	0,0392	0,0375	0,0187
Fe ₂ O ₃ , %	0,125	0,178	0,189	0,437	0,341	1,02	0,568	0,923	1,06	1,32	0,451
As ₂ O ₃ , %	0,123	0,446	0,352	0,500	0,227	0,546	0,503	0,936	1,24	0,445	0,221
Rb ₂ O, %	0,0019	0,0029	0,0023	0,0059	0,0035	0,0094	0,0059	0,0103	0,0126	0,0165	0,0049
SrO, %	0,999	0,852	0,710	0,824	0,251	0,394	0,295	0,485	0,506	0,224	0,207
SnO ₂ , %	0,0025	0,0025	0,0030	0,0031	-	0,0029	-	0,0027	0,0032	0,0027	-
Cs ₂ O, %	-	-	-	0,0102	0,0099	0,0292	0,0143	0,0224	0,0230	0,0366	0,0114
BaO, %	-	0,0398	0,0181	0,0304	-	0,0130	0,0099	0,0197	0,0273	0,0114	0,0068
U ₃ O ₈ , %	0,0036	0,0053	0,0028	0,0030	-	0,0021	(0,0014)	0,0022	0,0024	-	-

Çizelge 5. Elek Metal Analizi

Tane Fraksiyonu	% Ağırlık	%B ₂ O ₃	Li, ppm	Σ Elek Altı		
				% Ağırlık	Li, ppm	% Dağılım Li
+11	4,72	37,80	65,12	100,00	1.278,98	100,00
- 11 + 4	13,50	27,70	122,00	95,28	1.339,12	99,76
- 4 + 2	7,87	21,80	85,66	81,78	1.540,07	98,47
- 2 + 1	7,08	15,50	213,00	73,91	1.694,88	97,94
- 1 + 0,5	6,80	15,40	1.056,00	66,83	1.851,87	96,77
- 0,5 + 0,212	11,31	10,40	1.624,00	60,03	1.942,00	91,15
- 0,212 + 0,125	3,89	11,90	1.502,00	48,72	2.015,81	76,79
- 0,125 + 0,063	3,97	12,40	1.388,00	44,84	2.060,34	72,23
- 0,063 + 0,045	1,22	10,60	1.950,00	40,87	2.125,60	67,92
- 0,045	39,65	1,57	2.131,00	39,65	2.131,00	66,06
Besleme Malı	100,00	13,60	1.278,98			

**Şekil 4.** Tane boyutuna bağlı Σ EA Li (ppm) ve % Dağılım eğrileri

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma ile Emet Bölgesi bor üretim sahası değerlendirilerek lityum üretimi için tesiste olası en uygun lityum hammadde kaynak noktası belirlenmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda tesisin 5 ayrı yerinden alınan numuneler öncelikle lityum içeriği bakımından değerlendirilmiş ve lityum hammadde kaynağının kalibreli elek altından alınan katı atık numunesi olduğu kararına varılmıştır. Bu alandan alınan numune, öncelikle suda bekletme ardından ön eleme ile değerlendirilmiştir. 4 mm'lik elek ile ayrılan elek üstü malzemenin yaklaşık %18'i %30 B₂O₃ (-25 mm +4 mm arasında kalan kısım) ve çok

düşük oranda lityum içerdiğinden düşük tenörlü kolemanit konsantresi olarak ayrılmıştır.

Kimyasal analizinde, 4 mm'nin altındaki kil numunesi içerisinde lityumun %76'sının 212 mikron tane boyutu altında ve 2.000 ppm lityum tenörü üzerinde olduğu ve ağırlıkça %40'ında ise lityumun %66'sının bulunduğu tespit edilmiştir.

Yapılan analizler neticesinde, Hisarcık konsantratörden atık barajına gönderilen malzemeden alınan numune ile -25 mm tane boyutlu katı atık numunesi karşılaştırıldığında;

Tesis katı atığının içinde kolemanit tanelerine yapışmış, etrafını sarmış killer tespit edilmiştir. Ancak bu killer elde edilen çizelgelerden de takip edilebileceği üzere suda bekletme ve eleme yöntemi ile düşük tenörlü (bu çalışma için %30 B₂O₃) kolemanit konsantresi olarak rahatlıkla ayrılabilir. Oysaki yakın tenörlere sahip olan, atık barajına gönderilen numune; tesis içerisinde yıkama dağıtma aşamalarından geçerken prosesin etkisiyle kolemanitin ufalanması söz konusu olmaktadır. Sistemden kazanılmadığından atık barajına taşınarak uzaklaştırılan malzeme, ince boyuttaki B₂O₃ tenörünü arttırmaktadır. Araştırma lityumun kazanım prosesi olarak devam ettiği için, proses gereği atık barajı numunesi çalışmalarda tercih edilmemiştir.

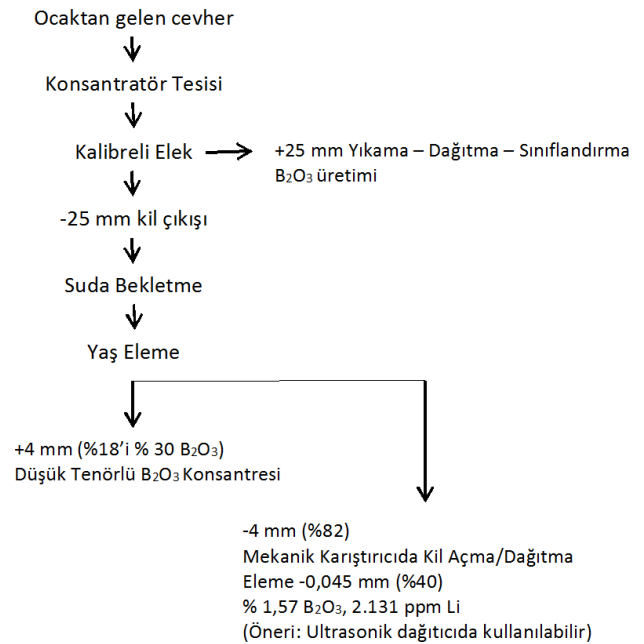
Lityumun kırka bor yataklarında olduğu gibi killerde bulunması, dolayısı ile çok ince ve homojen bir şekilde dağılım göstermesi fiziksel yöntemlerle zenginleştirilmesini güçleştirmektedir (Mordoğan vd. 1995). Lityum kazanımını verimli hale getirebilmek için ise, lityum içerikli killere farklı miktarda ve çeşitte kimyasallar ile liç yöntemi uygulanarak çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Yan et al. 2012a, Yan et al. 2012b, Viçeli et al. 2018, 2017) ve ayrıca liç yönteminin daha etkin olabilmesi için oda koşullarında liç yerine 80 °C'lere ulaşan liç ortamı, kavurma yöntemi ile ısı işlemlerde tercih edilmektedir (Salakjani et al. 2020, Ertan 2020). Bu durum ise kimyasallardan gelen çevresel tehditleri, liç ortamı sıcaklığının artırılmasından ve kavurmadan gelen maliyet artışını da gündeme getirmektedir (Mordoğan vd. 1995, Ertan 2020). Tüm bu sebep ve sonuç ilişkileri dahilinde eleme yöntemi ile lityum tenörü çok düşük olan boyutların kimyasal ve ısı işlemler öncesinde ayrılması, liç tesisi kapasitesinin artırılması, kimyasal tüketiminin azaltılması ve dolayısıyla üretim maliyetini düşürerek çevre dostu bir üretimin gerçekleşeceği kanaatine varılmıştır.

Yapılacak çalışmalara yol göstermesi anlamında önemli olan bu araştırma ile Eti Maden Emet Bor İşletmesi Hisarcık konsantratör tesisinde 25 mm açıklıklı kalibreli elekten geçerken ayrılan katı atığın

lityum üretimi için hammadde kaynağı olabileceği belirlenmiştir. Fabrikadaki üretim esnasında bu katı atık ayrıldığından, kurulu tesis olanakları ve taşıma giderlerinin üretim maliyetlerini düşürerek katkı sağlayacağı ve bor üretim esnasında bir yan ürün olarak değerlendirilebileceği dikkat çekmiştir. Çalışma sonucunda eleme yöntemi ile lityumca zengin fraksiyonun ayrılması zenginleştirme çalışmalarında önemli bir basamak teşkil ettiği tespit edilmiştir.

Araştırma Hisarcık konsantratör tesisinin -25 mm kalibreli elek çıkışından alınan örneklerle lityum üretim yöntemi belirlemesi olarak devam etmektedir.

Şekil 5'de lityum üretimi için tesis içinde yer alması önerilen liç öncesi bir akım şeması verilmektedir.



Şekil 5. Lityum Kazanımı için Önerilen Liç Öncesi Akım Şeması.

Teşekkür

Çalışmayı, 17.FEN.BİL.64 numaralı proje ile destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimine teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

Akgök, Y. Z., Şahiner M., 2017. Dünya'da ve Türkiye'de Lityum, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Ankara, 25.

- Brenner, A., 1963. Electrodeposition of alloys: principles and practice, Volume I. *Academic Press*, Newyork and London, 676.
- Çolak, M., Helvacı C., and Maggetti, M., 2000. Saponite from the Emet Colemanite mines, Kütahya, Turkey. *Clays and Clay Minerals*, 48(4), 409-423.
- Erdoğan, Y., Aksu, M., Demirbaş, A., and Abalı, Y., 1998. Analyses of boronic ores and sludges and solubilities of boron minerals in CO₂-saturated water. *Resources, Conservation and Recycling*, 24(3-4), 275-283.
- Ertan B., Erdoğan Y., 2014. Emet - Espey bölgesindeki borlu killerde eser element tayini. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 33, 22-27.
- Ertan, B., 2020. Klorklama kavurma işlemi ile bor killerindeki değerli metallerin ekstraksiyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(7), 1267-1272. doi: 10.5505/pajes.2019.90836
- Garrett, D. E., 2004. Handbook of lithium and natural calcium chloride. Elsevier, Academic Press., 488.
- Goonan, T. G., 2012. Lithium use in batteries , US Geological Survey, Reston, Virginia, 22.
- Hamzaoui, A. H., M'nif, A., Hammi, H., and Rokbani, R., 2003. Contribution to the lithium recovery from brine. *Desalination*, 158(1-3), 221-224.
- Helvacı C., 2018. Lityum ve lityum minerallerinin kaynakları, yatakların dağılımı ve ekonomik önemi, 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Öz Kitabı, 265-266.
- Helvacı, C., Mordoğan, H., Çolak, M., and Gündoğan, İ., 2004. Presence and distribution of lithium in borate deposits and some recent lake waters of west-central Turkey. *International Geology Review*, 46(2), 177-190.
- Hocking M., Kan J., Young P., Terry C., Begleiter D., 2016. Industry Lithium 101, Deutsche Bank Markets Research, 172.
- Kamienski, C. W., McDonald, D. P., Stark, M. W., and Papcun, J. R., 2004. Lithium and lithium compounds. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley and Sons, Inc.
- Krebs, R. E., 2006. The history and use of our Earth's chemical elements: a reference guide. Greenwood Publishing Group, 422.
- Manthiram, A., 2017. An outlook on lithium ion battery technology. *ACS Central Science*, 3(10), 1063–1069.
- Mordoğan, H., Helvacı, C, Malayoğlu, U., 1995. Bor yatakları killeri ve güncel göllerdeki lityum varlığı ve değerlendirme olanakları. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. TMMOB Maden Mühendisleri Odası. Eds Köse and Kızıl. İzmir, 185-196.
- Mordoğan, H. ve Helvacı, C., 1994. Bor yataklarındaki killer ve bazı güncel göl sularındaki lityumun varlığı ve dağılımı. 47. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri, 149.
- Polat, B. D. ve Keleş, Ö., 2012. Lityum iyon pil teknolojisi, *Metalürji Dergisi*, TMMOB Metalürji Mühendisleri Odası Yayını, 162, 42-48.
- Salakjani, N. K., Singh, P., and Nikoloski, A. N., 2020. Production of lithium—A literature review part 1: Pretreatment of spodumene. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 41(5), 335-348.
- Swain, B., 2017. Recovery and recycling of lithium: A review. *Separation and Purification Technology*, 172, 388-403.
- Vieceli, N., Nogueira, C. A., Pereira, M. F. C., Dias, A. P. S., Durão, F. O., Guimarães, C., and Margarido, F., 2017. Effects of mechanical activation on lithium extraction from a lepidolite ore concentrate. *Minerals Engineering*, 102, 1–14. doi:10.1016/j.mineng.2016.12.001.
- Vieceli, N., Nogueira, C. A., Pereira, M. F. C., Durão, F. O., Guimarães, C., and Margarido, F., 2018. Recovery of lithium carbonate by acid digestion and hydrometallurgical processing from mechanically activated lepidolite. *Hydrometallurgy*, 175, 1–10. doi:10.1016/j.hydromet.2017.10.022.
- Yan, Q., Li, X., Wang, Z., Wu, X., Guo, H., Hu, Q., and Wang, J., 2012a. Extraction of valuable metals from lepidolite. *Hydrometallurgy*, 117–118, 116–118. doi:10.1016/j.hydromet.2012.02.004.

Yan, Q., Li, X., Wang, Z., Wu, X., Wang, J., Guo, H., and Peng, W., 2012b. Extraction of lithium from lepidolite by sulfation roasting and water leaching. *International Journal of Mineral Processing*, **110–111**, 1–5. doi:10.1016/j.minpro.2012.03.005.

Yıldız, N., 2016. Lityum, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 54.

İnternet kaynakları

- 1- <https://www.etimaden.gov.tr/turkiyede-bor> (04.05.2021)
- 2- <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-lithium.pdf> (04.05.2021)

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile Kuraklık İndekslerinin Eğilim Analizi: Akşehir Örneği

Erhan ŞENER¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Araştırma ve Uygulama Merkezi, ISPARTA

e-posta: erhansener@sdu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6263-8366>

Geliş Tarihi: 06.10.2021

Kabul Tarihi: 23.12.2021

Öz

Günümüzde yağışların azalmasına bağlı olarak su kaynaklarımızı tehdit eden en önemli etkenlerin başında kuraklık gelmektedir. Kuraklık etkilerinin en aza indirebilmesi amacıyla yapılacak çalışmaların başında, kuraklığın süre, şiddet ve tekrarlanma periyodunun hassas bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, 1959-2019 yılları arasında Akşehir Devlet Meteoroloji İstasyonunda ölçülen yağış miktarları azalma eğilimi gösterirken sıcaklık değerlerinde ise istatistiksel olarak anlamlı bir artış eğilimi mevcuttur. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYI) kullanılarak 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık zaman ölçeklerinde yapılan kuraklık analizlerine göre elde edilen bulguların genel olarak birbirleri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda kuraklık indeks değerlerinin eğilim analizlerinde ise özellikle Ağustos ayı hariç diğer tüm aylarda istatistiksel olarak anlamlı azalma eğiliminde olduğu bir başka ifadeyle kuraklığın arttığı tespit edilmiştir. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile genel olarak hidrolojik kuraklığı temsil eden 12, 24 ve 48 aylık zaman ölçeklerindeki kuraklık analizlerine göre özellikle son yıllarda uzun süreler boyunca kurak dönemlerin yaşandığı ve bu durumun da Akşehir Gölü'nün dramatik bir şekilde kuruma süreci ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Akşehir;
Standartlaştırılmış
Yağış İndeksi (SYI);
Eğilim Analizi; Kuraklık;
Akşehir Gölü

Trend Analysis of Drought with Standardized Precipitation Index: A Case Study of Akşehir

Abstract

Nowadays, drought is one of the most important factors that threaten water resources due to the decrease of precipitation. At the beginning of the studies to minimize the effects of drought, the sensitive determination of the duration, severity and recurrence period of the drought comes first. According to the results obtained in this study, while the precipitation amounts measured at Akşehir State Meteorology Station between 1959 and 2019 showed a decreasing trend, there was a statistically significant increase in temperature values. According to the drought analyzes performed at 1, 3, 6, 9, 12, 24 and 48 months time scales using the Standardized Precipitation Index (SPI), it was determined that the findings obtained were generally compatible with each other. In this context, it was determined that there was a statistically significant decrease in all other months except August, in other words, drought increased in the trend analysis of drought index values. According to the drought analyzes that represent hydrological drought in general, performed at 12, 24 and 48 month time scales with the Standardized Precipitation Index, it has been determined that there have been dry periods for long periods, especially in recent years, and this situation is compatible with the dramatic drying process of Akşehir Lake.

Keywords

Akşehir; Standardized
Precipitation Index
(SPI); Trend Analysis;
Drought ; Akşehir Lake

1. Giriş

Özellikle son yıllarda etkilerini daha çok hissettiren kuraklık, genel olarak belirli bir zaman periyodu boyunca ölçülen yağış miktarlarının ortalama değerlerin altına düşmesi olması tanımlanmaktadır

(Şen 2001). Kuraklık, dünya çapında hemen hemen tüm ekonomik sektörler ile çevresel faktörleri etkileyen en önemli doğal afetlerin başında gelmektedir. Ortama düşen yağış miktarına bağlı olarak yüzeysel su kaynakları potansiyelleri ile akiferlerin beslenmesi gibi hidrolojik döngünün

tamamını etkilemektedir (Tsakiris vd. 2013). Meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyoekonomik olmak üzere dört kategoride sınıflandırılmakla birlikte meteorolojik kuraklık diğer kuraklıkların öncüsü niteliğindedir. Yağışların azalmasıyla başlayan meteorolojik kuraklık önce toprak neminin azalmasına daha sonra akarsu debilerinde azalmaya bağlı olarak rezervuarlarda su depolama sıkıntısına ve yeraltısu seviyelerindeki düşümlere neden olmaktadır. Bununla birlikte tüm bu kuraklık son olarak toplum üzerinde olumsuz etkiler göstermektedir (Tsakiris 2017). Kuraklık, sonuçları dikkate alındığında günümüzde insanoğlunun geleceğini tehdit eden en önemli küresel ve bölgesel çevre sorunlarının başında gelmektedir (Türkeş 2012). Deprem, sel ve kütle hareketleri gibi hızlı gelişen doğal afetlerin aksine Kuraklık afeti, yavaş gelişen ancak çok daha geniş bölgeleri uzun yıllar etkileyebilen en önemli doğal afetlerin başında gelmektedir.

İklim değişikliği, insan kaynaklı faaliyetlere bağlı olarak atmosferin bileşiminde veya arazi kullanımındaki değişiklikler neticesinde oluşabilmektedir (Türkeş 2012b). İklim değişikliğinin etkisiyle su döngüsünde değişiklikler olmakla birlikte buna bağlı olarak taşkın ve kuraklık gibi doğal afetlerin meydana geliş sıklığı ve şiddetlerinde artışlar beklenmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2012). İçerisinde bulunduğumuz yüzyılda su kaynakları üzerindeki en önemli baskıların başında küresel iklim değişikliği gelmektedir. Küresel iklim değişikliğinin etkileri ile birlikte özellikle su kaynaklarının bulunduğu havzaların karakteristik özelliklerine bağlı olarak, yüzey ve yeraltısu potansiyellerinde artış veya azalış, akiferlerin beslenimlerinde değişimler, ekstrem akımlara bağlı olarak kuraklıklar ve/veya taşkınların sıklıklarında ve şiddetlerinde artışlar, değişen yağış miktarlarına bağlı olarak arazi kullanım ile bitki örtüsü deseni değişimler ve tarımsal üretim amaçlı su gereksinimlerinde önemli artışlar beklenmektedir (Fıstıkoğlu ve Biberöglü 2008).

Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkların olası etkilerin en aza indirilebilmesi, söz konusu kuraklıkların şiddeti ve süresine bağlı olarak etkileyebileceği bölgelerin belirlenerek kuraklığa

hazırlık için gerekli planlama çalışmalarının yapılması ile mümkündür (Mishra ve Singh 2011). Bu kapsamda kuraklıkların şiddet, genlik ve sürelerinin izlenerek doğru kuraklık yönetimi amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından farklı indeksler geliştirilmiştir. Söz konusu indekslerden Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (Mckee vd. 1993), Normal Yağışın Yüzdesi İndeksi (Hayes 1999), Yağış Anomali İndeksi (Van Rooy 1965), Ondalıklar İndeksi (Gibbs ve Maher 1967), Çin Z indeksi (Wu vd. 2001), Efektif kuraklık indeksi (Byun ve Wilhite (1999) vb. indekslerde girdi parametresi olarak sadece yağış değerleri kullanılmaktadır. Bunun yanısıra Keşif Kuraklık İndeksi (Tsakiris ve Vangelis 2005), Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (Vicente Serrano vd. 2010), vb. indeksler sıcaklık ve yağış verilerini kullanılırken, Standartlaştırılmış Yeraltısu Seviye İndeksi (Bhuiyan 2004) yeraltısu seviye verileri ile Standartlaştırılmış Depolama Hacmi İndeksinde (Gusyev vd. 2015) aylık ortalama rezervuar hacim verileri kullanılmaktadır (WMO ve GWP, 2017). Bunlar arasında, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYI), kullanımının nispeten basit olması ve yağış verilerini yorumlama yeteneği nedeniyle kuraklığın süresi, şiddeti, genliği ve sıklığını değerlendirmek amacıyla en yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir (Khadr vd. 2009).

Göller Bölgesinde bulunan Akşehir Gölü'nde son yıllarda yağışlarda yaşanan azalışlar ile birlikte önemli oranda su kayıpları yaşanmış ve buna bağlı olarak da göl tamamen kurumıştır. Akşehir Gölü beslenimindeki en önemli girdi olan yağış miktarına bağlı olarak 1975 yılında göl alanı 342,89 km² iken 2006 yılında 84,94 km²'ye düşmüştür. Göl yüzölçümü bu dönemde %75,23 (257,95 km²) oranında azalmıştır (Şener vd. 2010). 2018 yılından tamamen kuruyan Akşehir Gölü, günümüze kadar geçen süre zarfında zaman zaman yağışlı dönemlerde bir miktar su tutsa da genel olarak kuru bir seyir izlemektedir.

Özellikle son yıllarda farklı indeksler kullanılarak kuraklık tahminlerine yönelik çalışmaların sayısında önemli bir artış olmuştur. Bu kapsamda son yıllarda Şener ve Şener (2020) tarafından yapılan çalışmada

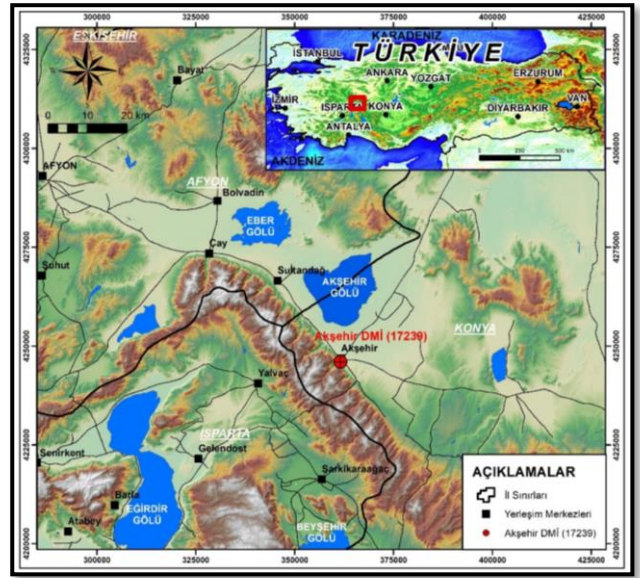
Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ve Çin Z İndeksi kullanılarak Burdur havzasında kuraklık analizi, Turan (2018) tarafından yapılan çalışmada ülkemizde iklim değişikliğine bağlı kuraklık analizleri, Beden vd. (2020). tarafından yapılan çalışmada Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ve Normalin Yüzdesi İndeksi kullanılarak Samsun ilinde kuraklıklar ile mevcut kuraklıkların eğilim analizi, Bakanoğulları (2020) tarafından yapılan çalışmada Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi kullanılarak İstanbul-Damlıca Deresi havzasında kuraklık analizi yapılmıştır. Şener ve Şener (2019) tarafından yapılan çalışma Çorak Gölü havzasında Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak kuraklığın zamansal ve konumsal analizi, Özfidaner ve Topaloğlu (2020) tarafından yapılan çalışmada Standartlaştırılmış Yağış İndeksi kullanılarak Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kuraklık analizi, Taylan ve Bahşi (2021) tarafından yapılan çalışmada Standartlaştırılmış Yağış İndeksi kullanılarak Gaziantep ilinde kuraklık analizi, Terzi ve Ersoy (2018) tarafından yapılan çalışmada Standartlaştırılmış Yağış İndeksi kullanılarak Konya ilinde kuraklık analizi ve Şener (2021) tarafından yapılan çalışmada ise Standartlaştırılmış Yağış İndeksi, Yağış Anomali İndeksi ve Normal Yağışın Yüzdesi İndeksi kullanılarak farklı zaman ölçeklerinde Isparta iline ait kuraklık analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada Akşehir bölgesinde kuraklık değerlendirmelerinin yapılarak kurak ve yağışlı dönemlerin belirlenmesi amacıyla farklı zaman ölçeklerinde Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yöntemi kullanılmıştır. Akşehir Devlet Meteoroloji İstasyonunda ölçülen yağış ve sıcaklık verileri ile hesaplanan kuraklık indeks değerlerinin zaman serisindeki eğilimleri Mann-Kendall trend analiz yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Akşehir ilçesi, Konya il sınırları içerisinde Isparta ve Afyonkarahisar illeri sınırında yer almaktadır (Şekil 1). Akşehir ovası Konya ilinin batı sınırını

oluşturmakla birlikte Türkiye'nin önemli tarım alanlarından birisidir. Büyük bir bölümü çok değerli kolüvyal ve alüvyal topraklarla kaplı olan ova, kaynağını Sultandağlarının oluşturduğu akarsular nedeniyle oldukça zengin bir tarımsal potansiyele sahiptir. Akşehir ilçesinin kuzeyi ve doğusu ovalardan, batısı ise Sultandağlarının oldukça dik yamaçlarından oluşmaktadır. İlçe çevresinde yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve kar yağışlı karasal iklim hakimdir (Sargın ve Akengin 2009).



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası

Akşehir ilçesinde meteorolojik kuraklığın şiddeti, süresi ve görülme sıklığının belirlenebilmesi amacıyla öncelikle 17239 numaralı Devlet Meteoroloji İstasyonunda 1959-2019 yılları arasında ölçülen 61 yıllık yağış ve sıcaklık verileri değerlendirilmiştir. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi kullanılarak 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık zaman ölçeklerinde kuraklık analizleri yapılmıştır. Söz konusu kuraklık indekslerinden elde edilen veriler ile sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak Mann-Kendall trend analiz yöntemi ile yağış, sıcaklık ve kurak dönemlere ait eğilimler belirlenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile Mann-Kendall trend analiz yöntemleri aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Kuraklık analizlerinde kullanılan birçok analiz yöntemi olmasına rağmen özellikle yağış verilerini

Yorumlama yeteneğinden dolayı Standartlaştırılmış Yağış İndeksi literatürde en çok kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir (Khadr vd. 2009). McKee vd. (1993) tarafından geliştirilen Standartlaştırılmış Yağış İndeksi genellikle 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık periyotlarda hesaplanmakla birlikte kısa süreli zaman dilimlerine ait indeks değerleri tarımsal su gereksinimi ve su potansiyeli için önemli çıktılar oluştururken 12, 24 ve 36 ay gibi uzun süreli zaman ölçeklerindeki indeks değerleri ise su kaynakları yönetimi ve yeraltısuyu seviyesi hakkında önemli bilgiler vermektedir (Mishra ve Singh 2010). Standartlaştırılmış Yağış İndeksinde kuraklık kategorileri gamma, normal ve lognormal dağılımlı yağış değerlerinden elde edilir (Yacoub ve Tayfur 2017). Standartlaştırılmış Yağış İndeksinde kuraklık kategorileri normal dağılımlı yağış verilerinden elde edilir (McKee vd. 1993, Yacoub ve Tayfur 2017). Ancak iklimsel yağış dizilerinin olasılık dağılım fonksiyonu genellikle normal dağılıma uymaz (McKee vd. 1993, McKee vd. 1995). Bu kapsamda yağış serilerini en iyi temsil eden olasılık dağılımı gamma dağılımıdır (Thom 1966). Bu nedenle Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yönteminde, yağış verilerinden elde edilen olasılık dağılım fonksiyonları gamma olasılık dağılım fonksiyonlarına dönüştürülür (Thom 1966, McKee vd. 1993, McKee vd. 1995, Mishra ve Singh 2010).

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad x>0 \text{ için} \quad (1)$$

Burada, $g(x)$ Gamma olasılık dağılımı, x : yağış miktarını ($x>0$), α : şekil parametresi ($\alpha>0$), x : yağış miktarı ($x>0$) ve β : ölçek parametresini ($\beta>0$) ifade eder.

Yine β ve α' nın tahmin edilmesinde maksimum olasılık çözümleri kullanılır. Buna göre;

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (3)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (4)$$

Burada n toplam yağış verisi sayısıdır. Mevcut yağış verileri kullanılarak elde edilen bu olasılık tanımlamaları daha sonra herhangi bir ayda gözlenmiş bir değer için kümülatif olasılığını bulmak için kullanılır. Dolayısıyla kümülatif olasılık aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (5)$$

Gamma olasılık dağılım fonksiyonunun $x=0$ için tanımsız olması ve yağış dağılımı sıfır (0) değerler içermesi nedeniyle kümülatif olasılık yeniden aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$H(x) = q + (1 - q)Gx \quad (6)$$

Burada q sıfırın olasılığıdır, m yağış serisindeki sıfırların sayısıdır.

$$q = \frac{m}{n} \quad (7)$$

$$SYI = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\sigma} \quad (8)$$

Burada;

SYI: Standartlaştırılmış Yağış İndeksi

X_i : Yıllık yağış miktarının normalleştirilmiş miktarı,

\bar{X}_i : Her bir istasyon için seçilen zaman aralığında

yağış ortalaması, σ : Her bir istasyona ilişkin

değerlerin zaman aralığı içindeki standart sapmasını

ifade eder.

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi değerlerinin 0 değerinin altına düşerek negatif değerler alması kuraklığın başlangıcı olarak tanımlanırken indeks değerlerinin negatif olması aynı zamanda kurak dönemleri de temsil etmektedir (Çizelge 1).

Akşehir DMI'ye ait yağış ve sıcaklık verileri ile standartlaştırılmış yağış indeksi değerlerinin zaman serisi boyunca istatistiksel olarak anlamlı olası artış ve azalışların belirlenebilmesi amacıyla trend analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda parametrik olmayan testlerden birisi olan Mann-Kendall trend testleri %95 güven aralığı baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Mann (1945) ve Kendall (1975) tarafından geliştirilen Mann-Kendall testi parametrik

bir test olmaması sebebiyle rastgele değişkenlerin dağılımından bağımsızdır ve çarpık dağılımlı bütün veri setlerine uygulanabilmektedir. Bu test ile herhangi bir zaman serisine ait veri setlerinde trend olup olmadığı, sıfır hipotezi “H0:trend yok” ile kontrol edilmektedir (Bayazit 1996). Mann-Kendall Testi başta su kalitesi, akarsu akışları, yağış ve sıcaklık gibi hidrometeorolojik verilerin zaman serilerindeki eğilimlerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yue vd. 2002).

Çizelge 1. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) Kuraklık sınıflaması (McKee vd. 1993)

(Kuraklık/Nemlilik) Sınıfı	SYİ İndeks Değeri
Aşırı yağışlı	2 ve üzeri
Çok yağışlı	1.5 – 1.99
Orta yağışlı	1 – 1.49
Normale yakın nemli	0.5 – 0.99
Normal	-0.499 – 0.499
Normale yakın kurak	-0.5 – -0.99
Orta düzeyde kurak	-1 – -1.49
Şiddetli kurak	-1.5 – -1.99
Aşırı kurak	-2 ve altı

Mann-Kendall testinin uygulanacağı zaman serisindeki veriler $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ de x_i ve x_j iki gruba ayrılır, burada $i < j$ için $x_i < x_j$ olan çiftlerin sayısı P , j için $x_i > x_j$ olan çiftlerin sayısı M ise ile gösterilirse test istatistiği $S = P - M$ şekilde tanımlanabilir. Mann-Kendall katsayısı;

$$\tau = \frac{S}{\sqrt{\frac{n(n-1)}{2}}} \quad (9)$$

$n \geq 10$ için normal değişken z değeri;

Örnekte birbirilerine eşit olan gözlemler var ise;

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_i t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}} \quad (10)$$

Burada, t_i değeri verilerdeki eşit değere sahip gözlem sayısıdır.

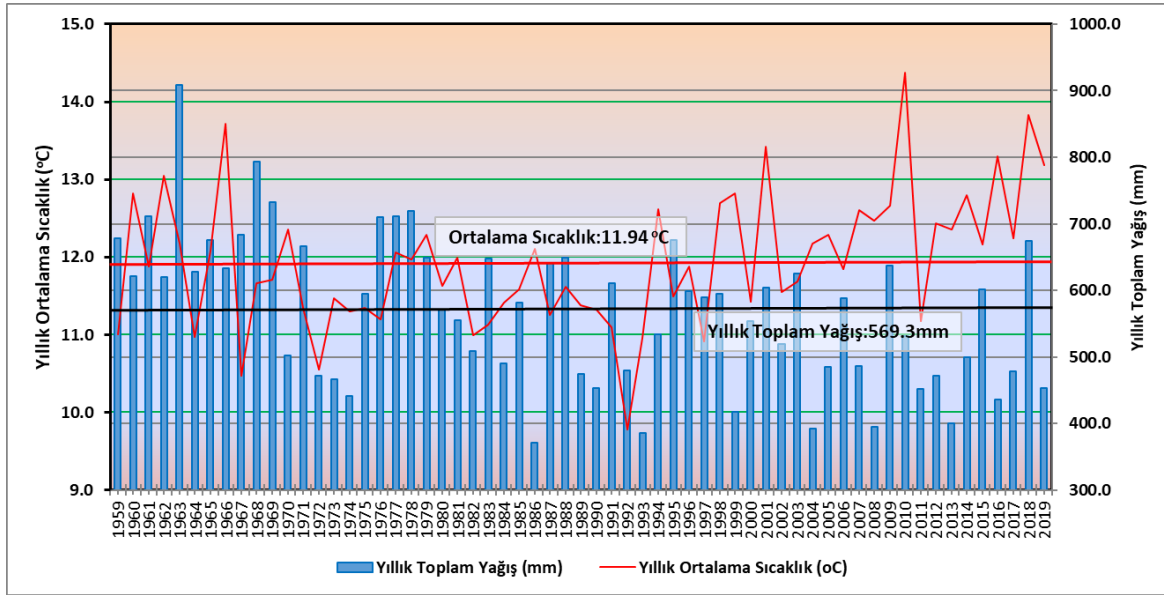
Mann-Kendall testlerinde sıfır ve karşı hipotezler mevcuttur. H0 hipotezi verilerde trendin olmadığını gösterirken, H1 hipotezi ise veriler arasında trend olduğunu gösterir. Mann-Kendall testi genellikle $\alpha=0.01$, $\alpha=0.05$ ve $\alpha=0.1$ anlamlılık düzeylerinde yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyinde Mann-Kendall testleri yapılmıştır. Dolayısıyla trendin bulunmadığı durumlarda trendin olma olasılığı %5'tir. İstatistiksel olarak anlamlılık düzeyinin $\alpha=0.05$ olması durumunda normal dağılım çizelgesindeki kritik eşik değeri 1,96'dır.

3. Bulgular ve Tartışma

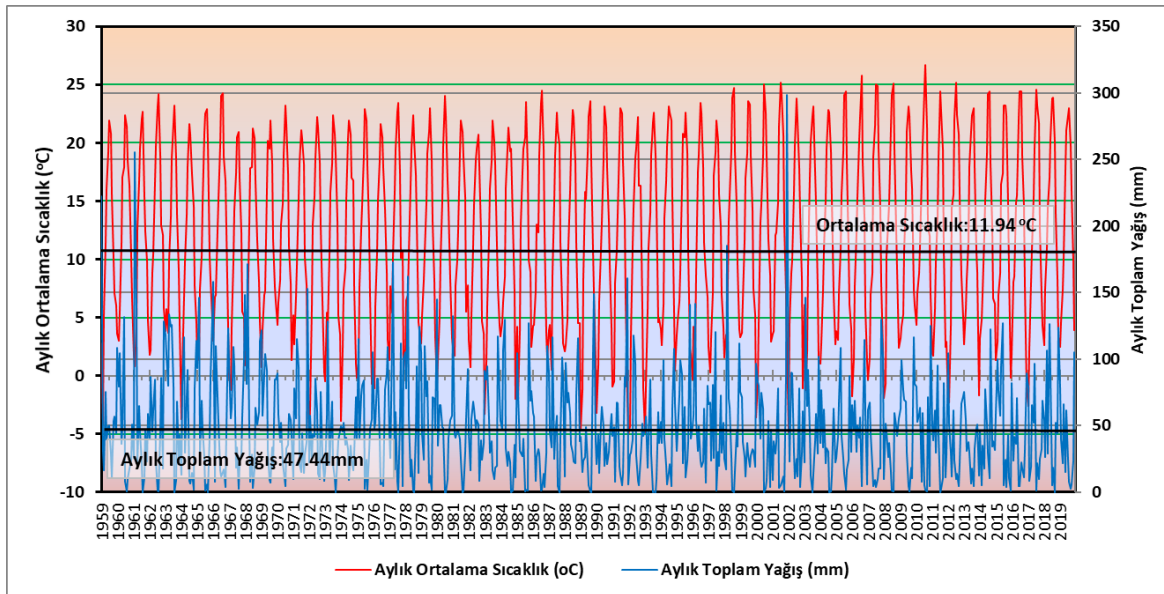
Akşehir Devlet Meteoroloji İstasyonunda 1959-2019 yılları arasında ölçülen 61 yıllık veriler incelendiğinde ortalama aylık sıcaklığın 11.94°C olduğu belirlenmiştir. Özellikle 1992, 1964 ve 1967 yılları olmak üzere 1990'lı yılların başlarına kadar sıcaklıkların nispeten ortalama sıcaklıkların altında gerçekleştiği bununla birlikte son yıllarda sıcaklık değerlerinin ortalama sıcaklıkların üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda özellikle son yıllarda 2001, 2010 2016 ve 2018 yılları ortalamadan daha sıcak yaşanmıştır (Şekil 2,3). Söz konusu döneme ait yağış verilerine göre ortalama aylık toplam yağış 47.44mm ve ortalama yıllık toplam yağış ise 569.3mm olarak ölçülmüştür. Ölçüm periyodunun yaklaşık ilk on yılı ortalama yağış miktarlarının üzerinde yağış ölçülürken özellikle 2000'li yılların başından itibaren ortalama yağış değerlerinin altında yağışlar ölçülmüştür. Özellikle en düşük yağış miktarları sırasıyla 1986 yılında 371.3mm, 2004 yılında 392.3mm, 2008 yılında 394.2mm, 2013 yılında 400.5mm ve 1999 yılında 417.2 mm olarak ölçülürken en fazla yağış ise sırasıyla 1963 yılında 908.8mm, 1968 yılında 792.8mm, 1969 yılında 731.8mm, 1978 yılında 719.2mm ve 1961 yılında ise 711.5 mm olarak kaydedilmiştir (Şekil 2,3). 61 yıllık süre zarfında ölçülen yağış değerlerin mevsimsel dağılımı incelendiğinde ise yağışların %31.4'ü ilkbahar, %12.8'i, yaz, %20.5'i sonbahar ve %35.2'si ise kış aylarında ölçülmüştür.

Aylık yağış verileri kullanılarak Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yöntemi ile 1, 3, 6, 12, 24 ve 48 aylık zaman ölçeklerinde yapılan kuraklık analizlerine ait grafikler Şekil 4-9'da verilmiştir. Buna göre 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan kuraklık analizine göre 1961 yılı Şubat ayında 3.26 indeks değeri ile en yağışlı dönem yaşanırken en kurak dönem ise -3.36 indeks değeri ile 2015 yılı aralık ayında yaşanmıştır. Aynı süre zarfında toplam 122 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 112 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmıştır (Şekil 4).

Standartlaştırılmış Yağış indeksi yöntemi kullanılarak 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan kuraklık analizlerine göre -3.38 indeks değeri ile en kurak dönem 1993 yılı Ağustos ayında ve 2.79 indeks değeri en yağışlı dönem ise 1963 yılı temmuz ayında yaşanmıştır. 61 yıllık süre zarfında 3 aylık zaman ölçeğine göre toplam 117 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 111 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmıştır (Şekil 5)



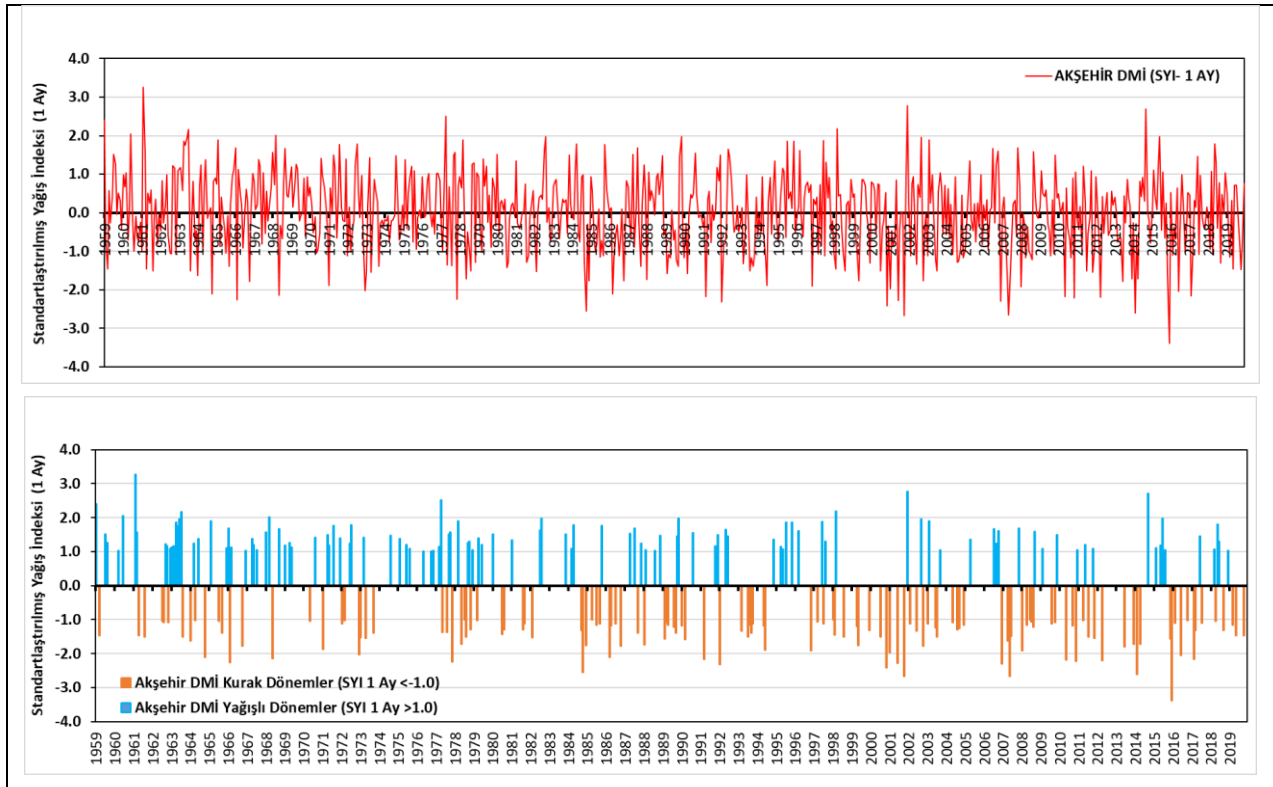
Şekil 2. Akşehir Meteoroloji İstasyonu verilerine göre yağış ve sıcaklığın yıllara göre dağılımı



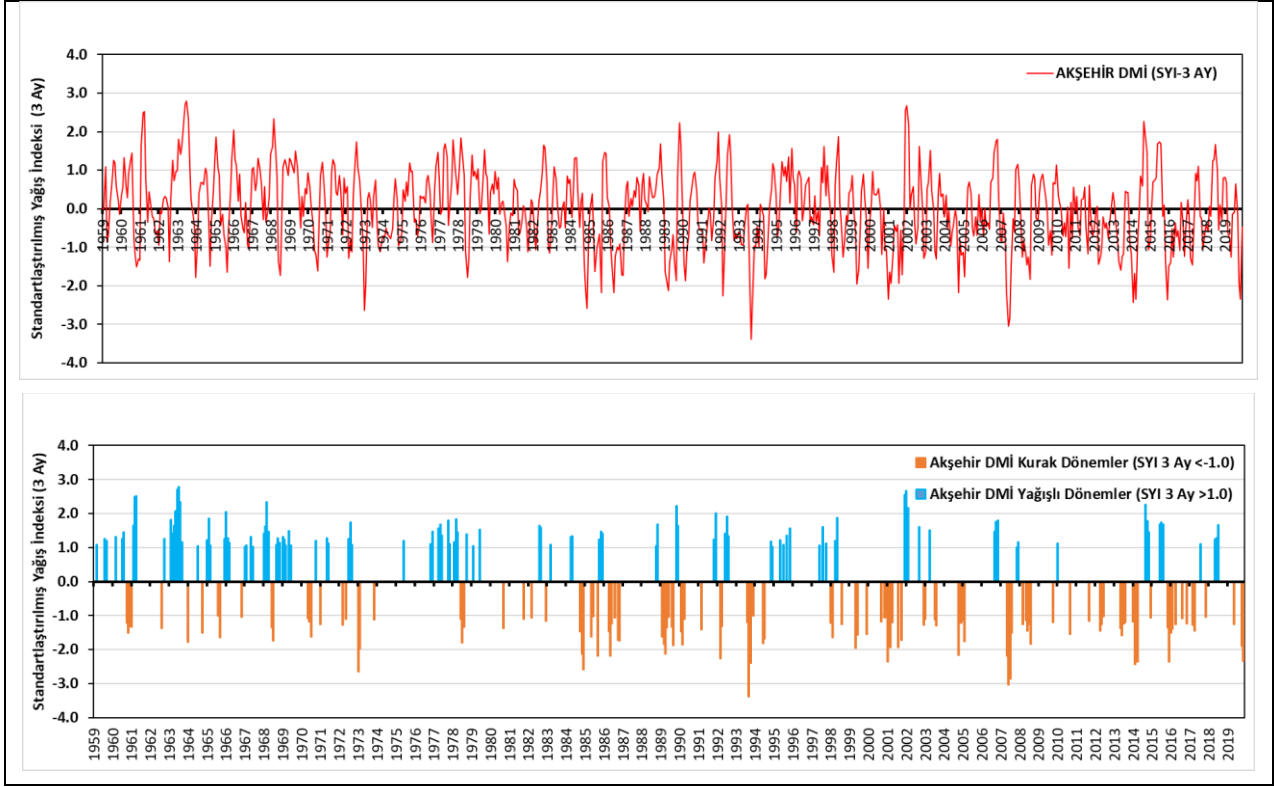
Şekil 3. Akşehir Meteoroloji İstasyonu verilerine göre yağış ve sıcaklığın aylara göre dağılımı

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yöntemi kullanılarak 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan kuraklık analizlerine göre -2.74 indeks değeri ile en kurak dönem 2007 yılı Eylül ayında ve 2.95 indeks değeri en yağışlı dönem ise 1963 yılı temmuz ayında yaşanmıştır. 61 yıllık süre zarfında 6 aylık zaman ölçeğine göre toplam 114 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 109 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmıştır (Şekil 6). Standartlaştırılmış Yağış indeksi yöntemi kullanılarak 9 aylık zaman ölçeğinde yapılan kuraklık analizlerine göre -3.18 indeks değeri ile en kurak dönem 1986 yılı Aralık ayında ve 3.0 indeks değeri ile en yağışlı dönem ise 1963 yılı Eylül ayında yaşanmıştır. 61 yıllık süre zarfında 9 aylık zaman ölçeğine göre toplam 128 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 110 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmıştır (Şekil 7). Standartlaştırılmış Yağış indeksi yöntemi kullanılarak 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan kuraklık analizlerine göre -2.77 indeks değeri ile en kurak dönem 2001 yılı Ekim ayında ve 3.09 indeks değeri en yağışlı dönem ise 1963 yılı Temmuz ayında yaşanmıştır. 61 yıllık süre zarfında 12 aylık zaman ölçeğine göre toplam 123 ay

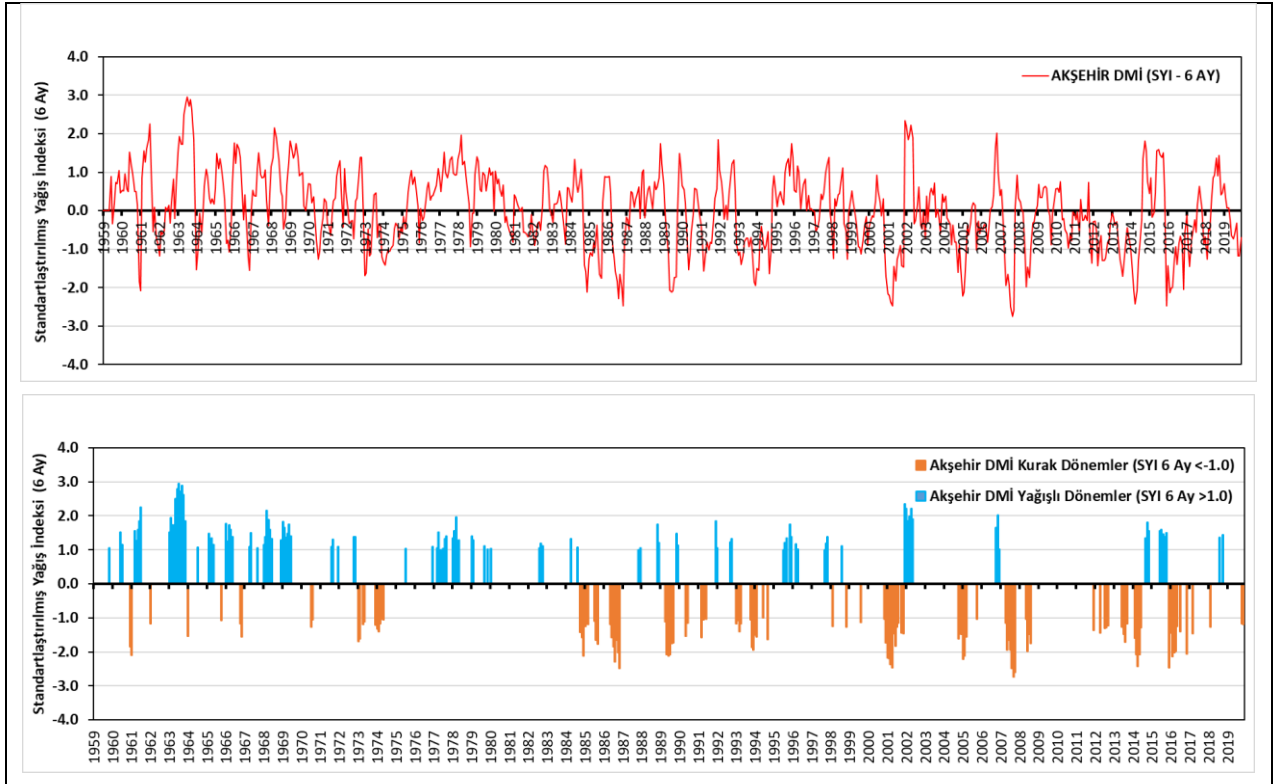
kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 119 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmıştır (Şekil 8). Standartlaştırılmış Yağış indeksi yöntemi kullanılarak 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan kuraklık analizlerine göre -2.23 indeks değeri ile en kurak dönem 2014 yılı Şubat ayında ve 2.35 indeks değeri en yağışlı dönem ise 1964 yılı Ağustos ayında yaşanmıştır. 61 yıllık süre zarfında 6 aylık zaman ölçeğine göre toplam 120 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 130 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmıştır (Şekil 9). Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yöntemi kullanılarak 48 aylık zaman ölçeğinde yapılan kuraklık analizlerine göre -2.06 indeks değeri ile en kurak dönem 2014 yılı Nisan ayında ve 2.18 indeks değeri en yağışlı dönem ise 1966 yılı Mart ayında yaşanmıştır. 61 yıllık süre zarfında 6 aylık zaman ölçeğine göre toplam 88 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 150 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmıştır (Şekil 10).



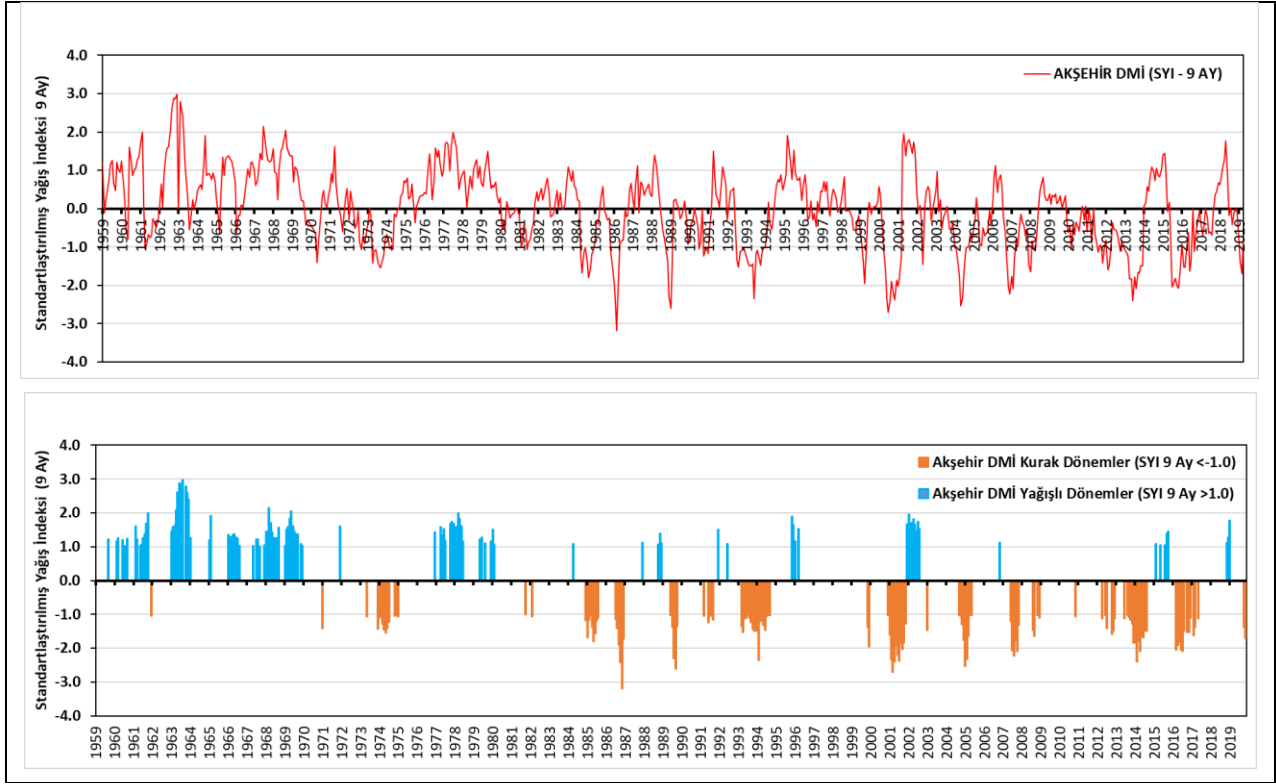
Şekil 4. 1 aylık zaman ölçeğindeki standartlaştırılmış yağış indeksine göre kurak ve yağışlı dönemler



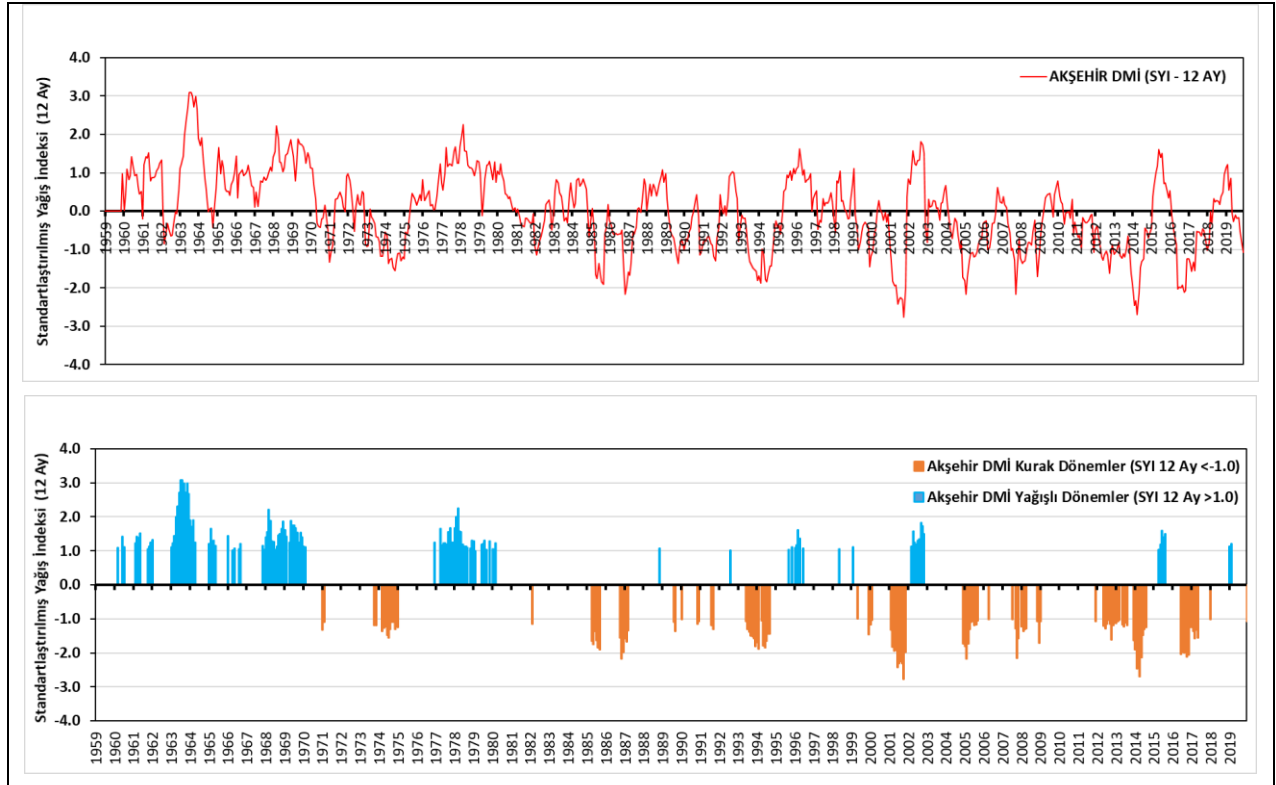
Şekil 5. 3 aylık zaman ölçeğindeki standartlaştırılmış yağış indeksine göre kurak ve yağışlı dönemler



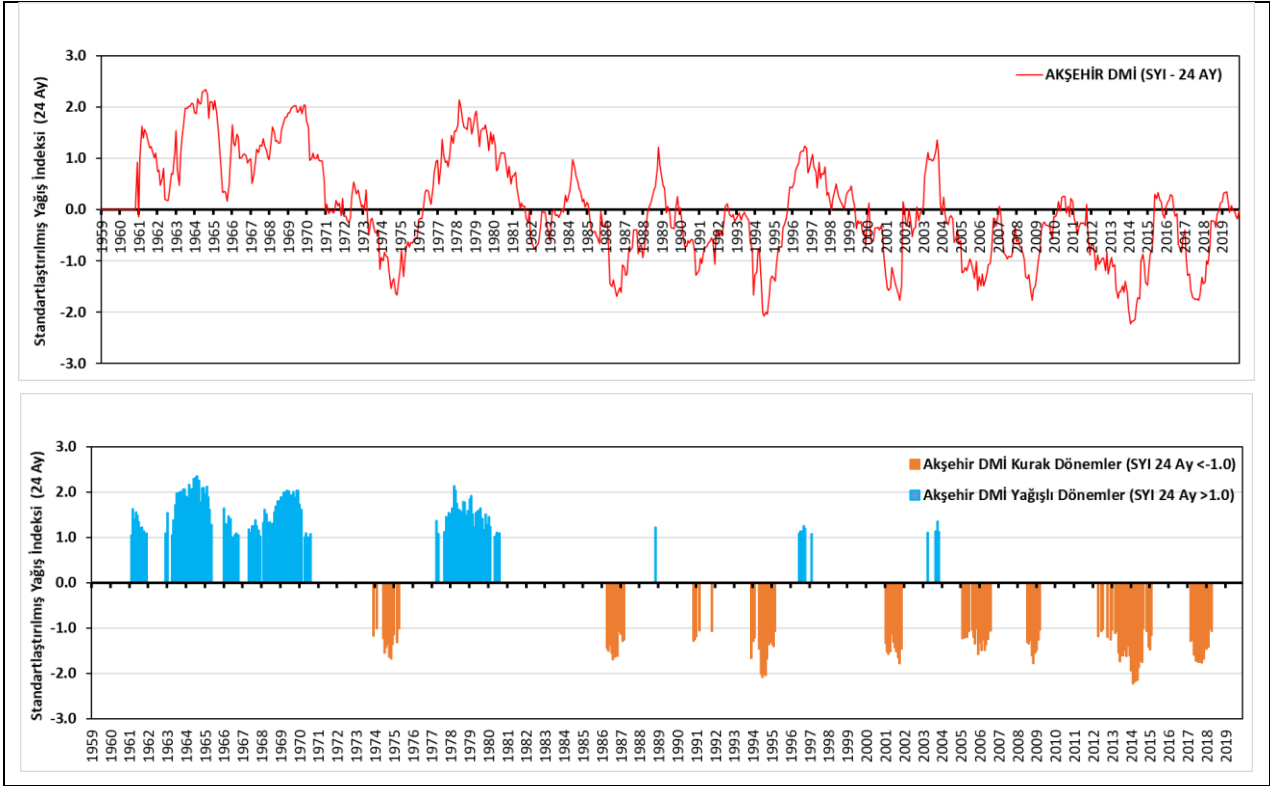
Şekil 6. 6 aylık zaman ölçeğindeki standartlaştırılmış yağış indeksine göre kurak ve yağışlı dönemler



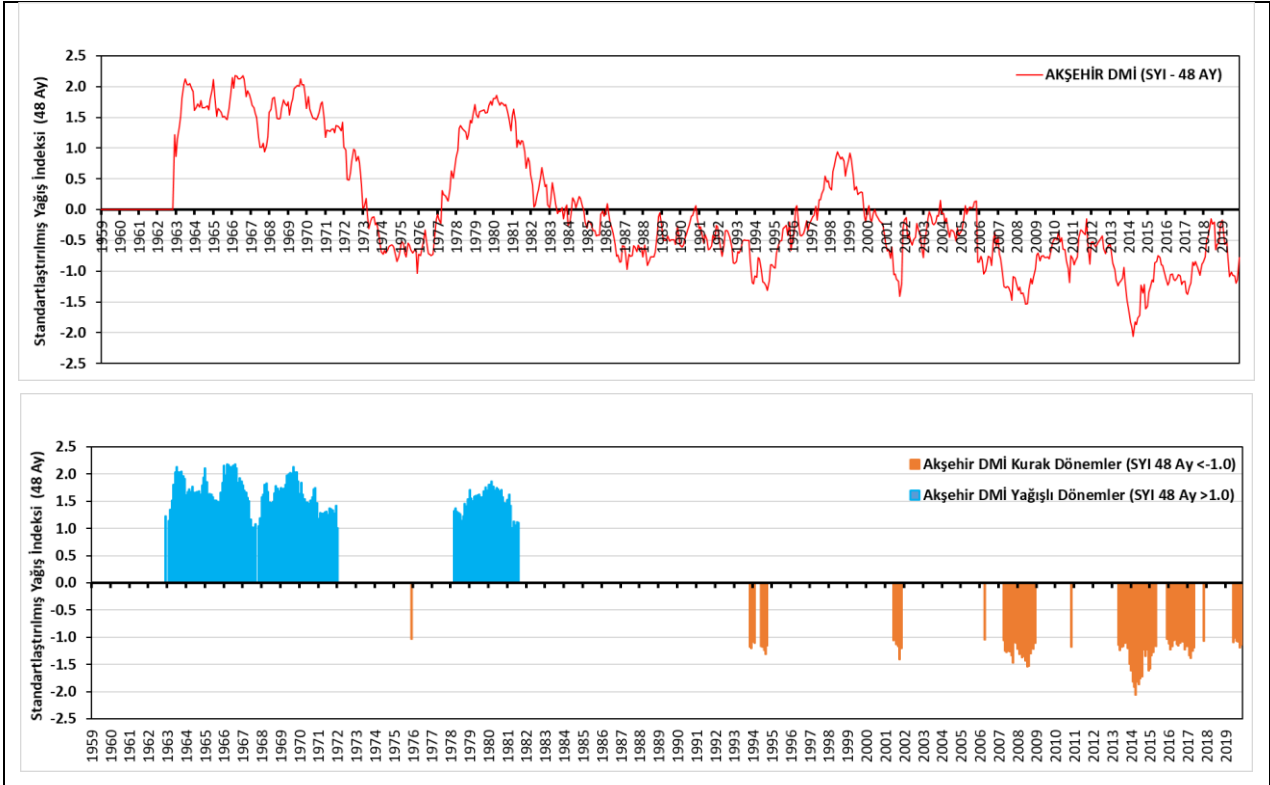
Şekil 7. 9 aylık zaman ölçeğindeki standartlaştırılmış yağış indeksine göre kurak ve yağışlı dönemler



Şekil 8. 12 aylık zaman ölçeğindeki standartlaştırılmış yağış indeksine göre kurak ve yağışlı dönemler



Şekil 9. 24 aylık zaman ölçeğindeki standartlaştırılmış yağış indeksine göre kurak ve yağışlı dönemler



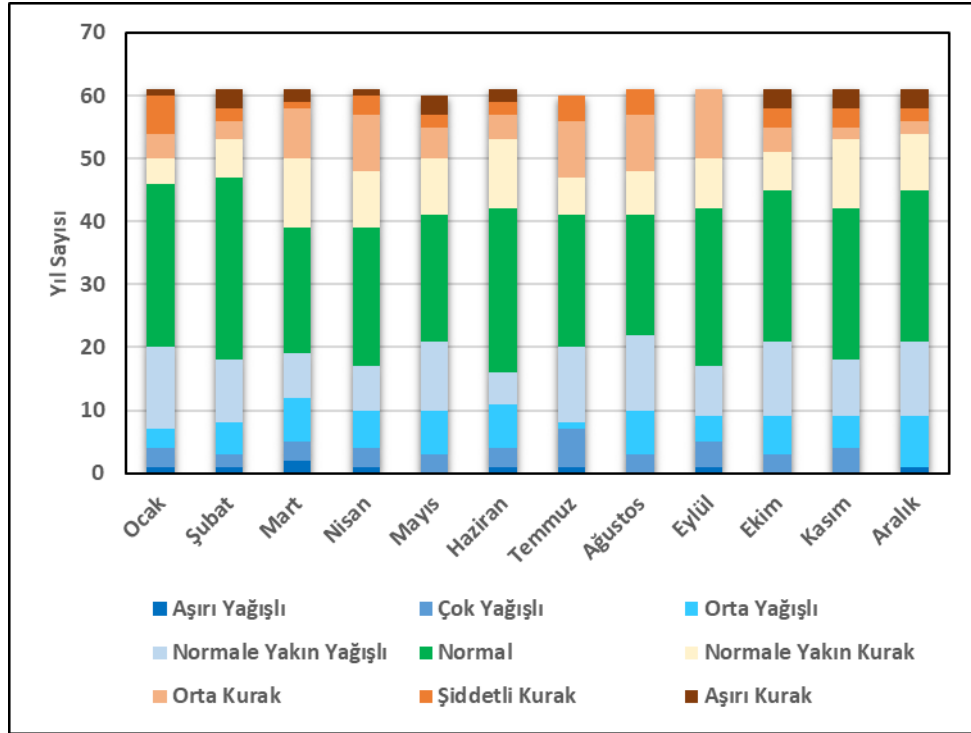
Şekil 10. 48 aylık zaman ölçeğindeki standartlaştırılmış yağış indeksine göre kurak ve yağışlı dönemler

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi kullanılarak 1 aylık zaman ölçeğine göre yapılan kuraklık analizlerine göre yağışlı ve kurak dönemlerin aylık dağılımları incelendiğinde Mart aylarında 2 defa Aşırı Yağışlı dönem yaşanırken aynı zamanda Şubat, Mayıs, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında 3'er defa Aşırı Kurak dönemlerin yaşandığı belirlenmiştir.

Bununla birlikte Temmuz ayında 6 defa Çok Yağışlı dönem Aralık ayında 8 defa Orta Yağışlı ve Ocak ayında ise 13 defa Normale Yakın Yağışlı dönem yaşanmıştır. Aynı süre zarfında Ocak ayında 6 defa Şiddetli Kurak, Eylül ayında 11 defa Orta Kurak ve Mart, Haziran ve Kasım aylarında ise 11 defa Normale Yakın Kurak dönem yaşanmıştır (Çizelge 2, Şekil 11).

Çizelge 2. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) Kuraklık sınıflaması (McKee vd. 1993)

Aylar	Aşırı Yağışlı	Çok Yağışlı	Orta Yağışlı	Normale Yakın Yağışlı	Normal	Normale Yakın Kurak	Orta Kurak	Şiddetli Kurak	Aşırı Kurak	Toplam
Ocak	1	3	3	13	26	4	4	6	1	61
Şubat	1	2	5	10	29	6	3	2	3	61
Mart	2	3	7	7	20	11	8	1	2	61
Nisan	1	3	6	7	22	9	9	3	1	61
Mayıs	0	3	7	11	20	10	5	2	3	61
Haziran	1	3	7	5	26	11	4	2	2	61
Temmuz	1	6	1	12	21	7	9	4	0	61
Ağustos	0	3	7	12	19	7	9	4	0	61
Eylül	1	4	4	8	25	8	11	0	0	61
Ekim	0	3	6	12	24	6	4	3	3	61
Kasım	0	4	5	9	24	11	2	3	3	61
Aralık	1	0	8	12	24	9	2	2	3	61
Toplam	9	37	66	118	280	99	70	32	21	732
Oran (%)	1.23	5.05	9.02	16.12	38.25	13.52	9.56	4.37	2.87	100.00



Şekil 11. SYİ kullanılarak 1 aylık zaman ölçeğine göre belirlenen yağışlı ve kurak dönemlerin aylık dağılımı

Akşehir Devlet Meteoroloji İstasyonunda 1959-2019 yılları arasında ölçülen aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık değerlerindeki istatistiksel olarak anlamlı artış ve azalışların belirlenebilmesi amacıyla Mann-Kendall trend analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda söz konusu yağış ve sıcaklık verileri aylık, mevsimlik ve yıllık değerlendirilerek eğilimleri belirlenmiştir (Çizelge 3-4). Söz konusu çizelgede artan yöndeki anlamlı eğilimler mavi ve azalan yöndeki anlamlı eğilimler ise turuncu ile gösterilmiştir. Buna göre yağış verileri incelendiğinde Ağustos ayı haricinde aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerinin tamamında azalan yönde bir eğilim vardır. Söz konusu azalan yöndeki eğilimlerin büyük bir bölümü güven aralıklarının dışında yani bir başka ifadeyle H_0 hipotezinin kabul edildiği ancak trendin olmadığı bölgede olduğu belirlenmiştir. Ancak aylık değerlendirmede Şubat ve Nisan, mevsimlik değerlendirmede ilkbahar ve Kış ile yıllık değerlendirmenin tamamında tespit edilen azalan yöndeki eğilimler istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu kapsamda belirlenen MK-z değerleri güven aralığının %95'lik sınır değerinin (1.96) üzerinde olduğu belirlenmiştir. Aylık ortalama sıcaklık değerleri incelendiğinde aylık değerlendirmede Ocak, Kasım ve Aralık ayları ile mevsimlik değerlendirmede Kış aylarının dışında aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerinin tamamında artan yönde bir eğilim söz konusudur. Bu artan yöndeki eğilimlerin büyük bir bölümü güven aralıklarının dışında yani bir başka

ifadeyle H_0 hipotezinin kabul edildiği ancak trendin olmadığı bölgede olduğu belirlenmiştir. Ancak aylık değerlendirmede Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül, mevsimlik değerlendirmede ilkbahar, Yaz ve Sonbahar ile yıllık değerlendirmenin tamamında tespit edilen artan yöndeki eğilimler istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu kapsamda belirlenen MK-z değerleri güven aralığının %95'lik sınır değerinin (1.96) üzerinde olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla genel trendler incelendiğinde, sıcaklıkların artma eğiliminde buna karşı yağışların ise azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi kullanılarak 1 aylık zaman ölçeğinde belirlenen kuraklık analizlerinden elde edilen indeks değerlerindeki istatistiksel olarak anlamlı artış ve azalışların belirlenebilmesi amacıyla Mann-Kendall trend analizleri yapılmıştır. Buna göre Ağustos ayında artan bir eğilim söz konusu iken buna karşı diğer tüm aylarda azalan yönde bir eğilim olduğu belirlenmiştir. Söz konusu azalan yöndeki eğilimlerin büyük bir bölümü güven aralıklarının dışında olmasına rağmen Şubat ve Nisan aylarındaki azalan yöndeki eğilimler istatistiksel olarak anlamlıdır. Dolayısıyla söz konusu aylarda belirlenen MK-z değerleri güven aralığının %95'lik sınır değerinin (1.96) üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 3. Yağış ve Sıcaklıkların aylık MK-z değerleri

Aylık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Yağış	-1.31	-2.41*	-1.5	-1.97	-0.49	-0.86	-0.99	0.54	-0.05	-0.64	-0.11	-1.38
Sıcaklık	-0.08	1.08	1.8	1.03	1.49	3.58*	4.32*	3.85	3.58*	1.42	-0.54	-1.62

* $p < 0.05$; (+) artan yönde, (-) azalan yönde

Çizelge 4. Yağış ve Sıcaklıkların mevsimlik ve yıllık MK-z değerleri

	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Yıllık
Yağış	-2.32*	-1.19*	-0.2427	-3.1*	-3.99*
Sıcaklık	2.13*	5.06*	2.21*	-0.27	2.78*

* $p < 0.05$; (+) artan yönde, (-) azalan yönde

Çizelge 5. 1 ay zaman ölçeğindeki Standartlaştırılmış Yağış İndekslerinin MK-z değerleri

Aylık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
SYİ-1ay	-1.28	-2.43	-1.5	-2.0*	-0.5	-0.86	-0.98	0.54	-0.06	-0.63	-0.12	-1.38

* $p < 0.05$; (+) artan yönde, (-) azalan yönde

4. Sonuçlar

Özellikle son yıllarda su kaynaklarımız üzerindeki en önemli baskıyı kuraklık oluşturmaktadır. Yağışların azalması ile birlikte yüzey ve yeraltı suyu miktarlarında önemli azalmalar yaşanmaktadır. Bu çalışmada Standartlaştırılmış Yağış İndeksi kullanılarak 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık zaman ölçeklerinde Akşehir ilçesinin kuraklık analizleri yapılmıştır. Ayrıca söz konusu kuraklık indeks değerleri ile birlikte yağış ve sıcaklık değerlerindeki istatistiksel olarak anlamlı artış ve azalış eğilimleri Mann-Kendall trend analizi kullanılarak tespit edilmiştir.

Buna göre 1959-2019 yılları arasında ölçülen 61 yıllık yağış verileri değerlendirildiğinde ortalama aylık toplam yağış 47.44mm ve ortalama yıllık toplam yağış ise 569.3mm olarak ölçülmüştür. Ölçüm periyodunun yaklaşık ilk on yılı ortalama yağış miktarlarının üzerinde yağış ölçülürken özellikle 2000'li yılların başından itibaren ortalama yağış değerlerinin altında yağışlar ölçülmüştür. Aynı süre zarfında ortalama aylık sıcaklığın 11.94°C olduğu ve özellikle 1992, 1964 ve 1967 yılları olmak üzere 1990'lı yılların başlarına kadar sıcaklıkların nispeten ortalama sıcaklıkların altında olduğu bununla birlikte son yıllarda ise sıcaklık değerlerinin ortalama sıcaklıkların üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi kullanılarak 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 ay zaman ölçeklerinde yapılan kuraklık analizlerinin genel olarak birbirleri ile uyumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir. En yağışlı dönem, 1 ay zaman ölçeğinde 2015 yılı aralık ayı, 3-6-12 ay zaman ölçeklerinde 1963 yılı temmuz ayı, 24 ay zaman ölçeğinde 1964 yılı Ağustos ayında ve 48 ay zaman ölçeğinde ise 1966 yılı Mart ayında yaşanmıştır. Bununla birlikte en kurak dönemler ise 1 ay zaman ölçeğinde 1961 yılı Şubat ayı, 3 ay zaman ölçeğinde 1993 yılı Ağustos ayında, 6 ay zaman ölçeğinde 2007 yılı Eylül ayında, 12 ay zaman ölçeğinde 2001 yılı Ekim ayında, 24 ay zaman ölçeğinde 2014 yılı Şubat ayında ve 48 ay zaman ölçeğinde ise 2014 yılı Nisan ayında yaşanmıştır. Aynı zamanda 1 ay zaman ölçeğindeki kuraklık indeks değerlerine göre 122 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 112 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak belirlenmiştir. 48 ay zaman ölçeğindeki kuraklık indeks değerlerine göre ise 88 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) ve 150 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmakla birlikte kurak dönemlerin tamamı son yıllarda gerçekleştiği

tespit edilmiştir. Bununla birlikte özellikle 1 ve 3 ay zaman ölçeğindeki SYİ değerleri kısa süreli meteorolojik kuraklıkları temsil etmesine rağmen özellikle 6-9 ay zaman ölçeğindeki SYİ değerleri tarımsal kuraklığı ve 12 – 48 ay zaman ölçeğindeki SYİ değerleri ise hidrolojik kuraklıkları daha iyi temsil etmektedir. Bunun nedeni kuraklık süresinin öncelikle kısa süreli yağış azalmasına bağlı olarak meteorolojik kuraklık ile başlayıp sonrasında meteorolojik kuraklık süresinin artması ile tarımsal kuraklık yaşanması ve son olarak da yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarını etkileyerek hidrolojik kuraklığın gelişmesi ile ilişkilidir.

Akşehir Devlet Meteoroloji İstasyonunda 1959-2019 yılları arasında ölçülen aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık ve Standartlaştırılmış Yağış İndeks değerlerindeki istatistiksel olarak anlamlı artış ve azalışların belirlenebilmesi amacıyla Mann-Kendall trend analizleri yapılmıştır. Aylık toplam yağış değerlerinin Trend analiz sonuçlarına göre Şubat ve Nisan ayları ile birlikte ilkbahar mevsimi ve yıllık değerlendirmenin tamamında azalan yönde eğilimler istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık değerlerinin trend analiz sonuçlarına göre ise aylık değerlendirmede Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül, mevsimlik değerlendirmede ilkbahar, Yaz ve Sonbahar ile yıllık değerlendirmenin tamamında artan yönde eğilimlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 1 ay zaman ölçekli Standartlaştırılmış Yağış İndeksi değerlerinin trend analizinde ise Ağustos ayı hariç diğer tüm aylarda azalan yönde bir eğilim olduğu belirlenmiştir. Bir başka ifadeyle kuraklık şiddetinin arttığını göstermektedir. Özellikle Şubat ve Nisan aylarındaki azalan yönde eğilimler istatistiksel olarak anlamlı olup hesaplanan MK-z değerleri güven aralığının %95'lik sınır değerinin (1.96) üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Son yıllarda yağışların azalmasına bağlı olarak su kaynaklarımızı tehdit eden en önemli etkenlerin başında kuraklık gelmektedir. Birçok bölgede olduğu gibi Akşehir ilçesinde özellikle yüzeysel su kaynaklarının miktarlarında azalmalar gözlenmektedir. Özellikle Akşehir Gölü'nün son yıllarda dramatik bir şekilde kurumasının en önemli faktörlerinin başında yağış azlığına bağlı olarak kuraklık gelmektedir. Bu kapsamda Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile 12, 24 ve 48 aylık

zaman ölçeklerinde ve genel olarak hidrolojik kuraklığı temsil eden kuraklık analizlerine göre, özellikle son yıllarda uzun süreler boyunca kurak dönemlerin yaşandığı belirlenmiştir. Bu durum Akşehir Gölü'nün kuruma süreci ile Standartlaştırılmış Yağış İndeksi verilerinin uyumlu olduğunu göstermektedir.

5. Kaynaklar

- Bakanoğulları, F., 2020. SPEI ve SPI indisleri kullanılarak İstanbul-Damlıca Deresi Havzasında kuraklık şiddetlerinin analizi. *Toprak Su Dergisi*, **9**(1), 1-10.
- Beden, N., Demir, V., Keskin, A. Ü., 2020. Samsun İlinde SPI ve PNI Kuraklık İndekslerinin Eğilim Analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **22** (64), 107-116.
- Bhuiyan, C., 2004 Various Drought Indices for Monitoring Drought Condition in Aravalli Terrain of India. *Proceedings of the XXth ISPRS Conference. International Society fo Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey*,
- Byun, H. R., & Wilhite, D. A., 1999. Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, **12**(9), 2747-2756.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017. Türkiye'nin iklim değişikliği uyum stratejisi ve eylem planı, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, İklim Değişikliği Dairesi Başkanlığı, http://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/editedosya/iklim_Degisikligi_Uyum_Stratejisi_ve_Eylem_Plani.pdf, [Erişim 11 Ekim 2017].
- Fıstıkoglu, O., Biberoglu, E., 2008. Küresel İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi ve Uyum Önlemleri, TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu, 13-14 Mart, Ankara, 238 - 252.
- Gibbs, W.J. and J.V. Maher., 1967. Rainfall Deciles as Drought Indicators. Bureau of Meteorology Bulletin No. 48, Melbourne, Australia.
- Gusyev, M.A., Hasegawa, A., Magome, J., Kuribayashi, D., Sawano, H., Lee, S., 2015. Drought Assessment in the Pampanga River Basin, the Philippines. Part 1: A Role of Dam Infrastructure in Historical Droughts. *Proceedings of the 21st International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM 2015)*, Broadbeach, Queensland, Australia.
- Hayes, M. J., 1999. Drought Indices. National Drought Mitigation Center.
- Khadr, M., Morgenschweis, G., Schlenkhoff, A., 2009. Analysis of meteorological drought in the ruhr basin by using the standardized precipitation index. *World Acad Sci Eng Technol* **57**:607–616
- McKee, T., Doesken, N., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. The Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, American Meteorological Society, Book of Proceedings,179-184.
- Mishra, A.K., Singh, V.P., 2010. review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202–216. Thom, H. C. S. 1966. Some Methods of Climatological Analysis. WMO Technical Note No. 81, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 63 pp.
- Mishra A.K., Singh VP., 2011. Drought modeling - a review, *Journal of Hydrology*, **403**, 157-175.
- Özfidaner, M., Topaloğlu, F., 2020. Standart Yağış İndeksi Yöntemi ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Kuraklık Analizi. *Toprak Su Dergisi* **9** 130-136
- Sargın, S., Akengin, H., 2009. Akşehir Kırklarında Nüfus, Yerleşme ve Arazi Kullanımı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, **(19)**, 149-168.
- Şen Z., 2001, Kuraklık Kıranı Yuvarlak Masası Toplantısı, 20 Mart 2001, Ankara Hilton Oteli.
- Şener, E., Davraz, A., Şener, Ş.,2010. Investigation of Akşehir and Eber Lakes (SW Turkey) coastline change with multitemporal satellite images. *Water resources management*, **24**(4), 727-745.
- Şener, E., Şener, Ş., 2019. Meteorolojik Kuraklığın Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Zamansal Ve Konumsal Analizi: Çorak Gölü Havzası (Burdur-Türkiye) Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, **7**(3), 596-607.

- Şener, E., Şener, Ş. (2021). SPI ve CZI Kuraklık İndislerinin CBS Tabanlı Zamansal ve Konumsal Karşılaştırması: Burdur Gölü Havzası Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 41-58.
- Şener, E., Davraz, A., 2021. Yağış Tabanlı Farklı İndisler Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi: Isparta Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(Ek (Suppl.) 1), 404-418.
- Taylan, D. & Bahşi, A. M., 2021. Gaziantep İli Meteorolojik Kuraklık Analizi ve KAS İlişkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25 (2), 371-382.
- Terzi, Ö., Ersoy, T., 2018. Yapay Sinir Ağları ile Konya İli Kuraklık Tahmini. *DSİ Teknik Bülteni*, (127), 1-13.
- Thom, H. C., 1966. Some Methods of Climatological Analysis. WMO Technical note 81.
- Tsakiris, G., & Vangelis, H. J. E. W., 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European water*, 9(10), 3-11.
- Tsakiris, G., Nalbantis, I., Vangelis, H., Verbeiren, B., Huysmans, M., Tychon, B., Jacquemin, I., Canters, F., Vanderhaegen, S., Engelen, G., Poelmans, L., De Becker, P., Batelaan, O., 2013. A system-based paradigm of drought analysis for operational management. *Water Resources Management*, 27, 5281-5297.
- Tsakiris, G., 2017. Drought risk assessment and management. *Water Resources Management* 31(10):3083-3095
- Turan, E. S., 2018. Türkiye'nin iklim değişikliğine bağlı kuraklık durumu. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1), 63-69.
- Türkeş M., 2012, Kuraklık, çölleşme ve birleşmiş milletler çölleşme ile savaşım sözleşmesi'nin ayrıntılı bir çözümlemesi, *Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi*, 20(1), 7-55
- Türkeş M., 2012b. Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32
- Van Rooy, M.P., 1965. A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, 14, 43.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I., 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*. 23: 1696-1718.
- World Meteorological Organization (WMO), Global Water Partnership (GWP) (2017) Handbook of drought indicators and indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Program (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva. ISBN 978-92-63-11173-9
- Wu, H., M.J. Hayes, A. Welsch, Q. Hu, 2001. An evaluation the standardized precipitation index, the China-z index and the statistical Z-Score, *International Journal of Climatology*, 21, 745-758.
- Yacoub, E., Tayfur, G., 2017. Evaluation and Assessment of Meteorological Drought by Different Methods in Trazza Region, *Mauritania. Water Resources Management*, 31, 825-845.

Demirçevre-Sadıkbey (Afyonkarahisar) Arasındaki Yerleşim Alanının Jeolojik-Jeoteknik Özellikleri

Halil İbrahim ACAR¹, Ahmet YILDIZ², Mahmut MUTLUTÜRK³ *

¹Afyonkarahisar Belediyesi, Afyonkarahisar.

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

³Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta.

*Sorumlu yazar e-posta: acarjeoloji@gmail.com

e-posta: acarjeoloji@gmail.com

e-posta: acarjeoloji@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3526-6717>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3526-6717>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3526-6717>

Geliş Tarihi: 02.08.2021

Kabul Tarihi: 23.12.2021

Öz

Deprem açısından risk taşıyan bölgelerde yeni yerleşim alanlarına ihtiyaç duyulması, mühendislik açısından detaylı çalışmaların yapılmasını gerektirmektedir. Depremsellik açısından risk taşıyan bir bölge olan Afyonkarahisar İli Demirçevre-Sadıkbey arasında kalan alanda da yeni yerleşim planlanmaktadır. Bu alanın mühendislik jeolojisi açısından incelenmesi de bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. İnceleme alanının temelinde Paleozoyik yaşlı Afyon Metamorfikleri yer almaktadır. Metamorfikleri Orta-Üst Miyosen yaşlı Ömer-Gecek formasyonu uyumsuzlukla örtmektedir. Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyonlar en üstte yer almaktadır. Bölgenin mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmesi için toplam derinliği 500 m olan 30 sondaj yapılmış, sondajların değişik seviyelerinde standart penetrasyon testi (SPT) uygulanmış, sondaj numuneleri üzerinde Türk Standartları Enstitüsü (TSE)'nin ilgili standartlarına uygun olarak laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bölgenin depremselliği ve risk analizi yapılarak çalışma alanı sıvılaşma açısından değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, elde edilen veriler yardımı ile çalışma alanı yerleşime uygunluk açısından değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler

Yerleşime uygunluk;
Sıvılaşma; Jeoteknik;
Deprem

Geological-Geotechnical Characteristics of the Settlement Area Between Demirçevre-Sadıkbey (Afyonkarahisar)

Abstract

The need for new residential areas in areas at risk for earthquakes requires detailed engineering studies. A new settlement is also planned in the area between Demirçevre and Sadıkbey in Afyonkarahisar, which is a risky region in terms of seismicity. Examination of this area in terms of engineering geology is also the subject of this study. At the base of the study area, Paleozoic aged Afyon Metamorphics are located. The metamorphics are unconformably overlain by the Middle-Upper Miocene aged Ömer-Gecek formation. Quaternary travertine and alluviums are at the top. In order to evaluate the region in terms of engineering geology, 30 drillings with a total depth of 500 m were made, standard penetration test (SPT) was applied at different levels of the drillings, laboratory tests were carried out on the drilling samples in accordance with the relevant standards of the Turkish Standards Institute (TSE). The seismicity of the region and the risk analysis were made and the study area was evaluated in terms of liquefaction. As a result, the study area was evaluated in terms of suitability for settlement with the help of the data obtained.

Keywords

Settlement suitability;
Liquefaction;
Geotechnics;
Earthquake

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Aktif tektonik açıdan kritik bir bölgede yer alan ülkemiz, buna bağlı olarak doğal afet tehlikeleri ile de karşı karşıyadır. Bu nedenle gerek afet

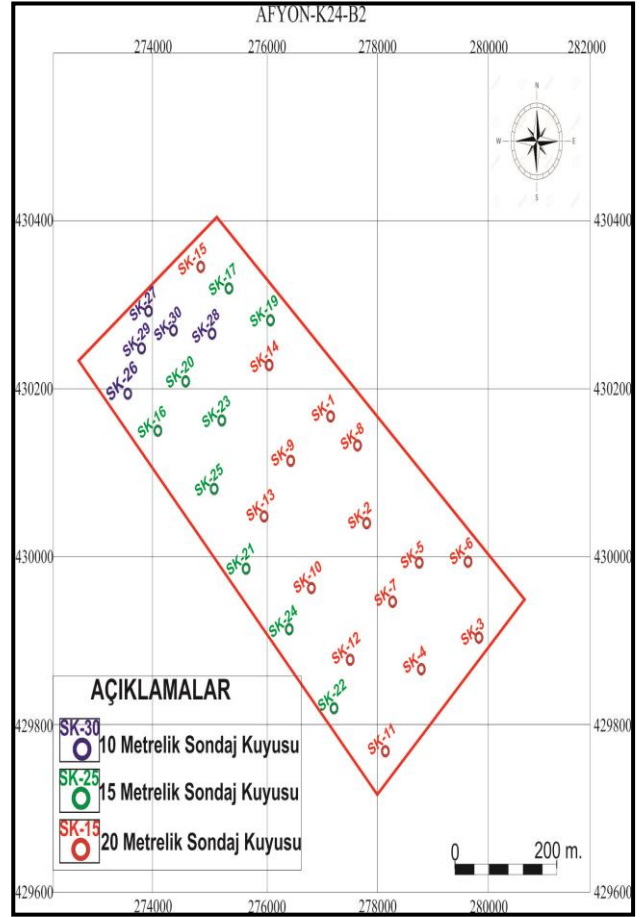
tehlikelerinin önlenmesi gerekse afet etkilerinin azaltılması amacı ile yapılan İmar Planlarına Esas Jeolojik-Jeoteknik çalışmalar önem kazanmaktadır. Yerleşime açılması düşünülen alanlarda yapılan bu çalışmalarda, bölgedeki jeolojik birimlerin

mühendislik özellikleri ile jeolojik açıdan afet riski Çalışma alanı Afyonkarahisar merkezinin kuzeyindeki Sadıkbey ve Demirçevre mahalleleri arasında kalan alanı kapsamaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde genel jeoloji, mühendislik jeolojisi ve jeotermal kaynakların araştırılması amacıyla yapılmış çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda Afyonkarahisar ilinin tektonik yapısı ve deprem üretme potansiyeli olan faylar incelenmiş (Koçyiğit, 1984; Koçyiğit ve Özaçar, 2003; Koçyiğit ve Devenci, 2007; Özkaymak vd., 2017; 2019; Özkaymak ve Sözbilir, 2020), bölgede yayılım sunan kayaçların stratigrafik ve litolojik özellikleri araştırılmış (Karamanderesi, 1972; Metin vd., 1987; Çevikbaş vd., 1988; Tolluoğlu vd.,1997), geniş bir alanda yayılım sunan volkanizmanın yaşı, kökeni ve volkanik kayaçların petrografik özellikleri (Harut, 1995; Erkan vd., 1996) ortaya konmuştur. Afyonkarahisar ilinin en önemli jeotermal alanı olan Ömer-Gecek bölgesindeki jeotermal kaynakların hidrojeolojisi, jeotermal sistemin kavramsal modeli araştırılarak (Ulutürk, 2009), bölgedeki jeotermal sistemin yanal ve düşey dağılımının ortaya konması için jeolojik ve jeofizik çalışmalar yapılmıştır (Öktü vd., 1997; Yıldız vd., 2011). Afyonkarahisar şehir merkezini içine alan bölgede yapılan mühendislik jeolojisi çalışmalarında ise şehirde nüfus artışına bağlı olarak ortaya çıkan ihtiyaçlara hızlı, doğru ve ekonomik cevap verebilmek için bilgilerin CBS sistemiyle toplanması vurgulanmış (Ayyıldız, 2006), Afyonkarahisar şehir merkezinin değişik bölgelerinde gerçekleştirilen çalışmalarda, proje alanlarının yerleşime uygunluk açısından değerlendirilmesi yapılarak imar planına esas jeolojik etüt raporları hazırlanmıştır (Akbaşlı, 2008; Üçeksen, 2018).

2. Yöntem

Bölgenin jeolojik özellikleri literatür ve arazi çalışmaları yardımıyla ortaya konarak, çalışma alanının 1:25.000 ölçekli jeolojik haritası hazırlanmıştır. Bölgede özel bir firma tarafından gerçekleştirilen jeoteknik çalışmalara eşlik edilerek, 44 adet temel sondajı verileri yerinde değerlendirilmiştir (Şekil 1). Sondajlar sırasında uygun seviyelerde Standart Penetrasyon Testi (SPT) yapılarak zeminlerin penetrasyon direnci

belirlenmiş olup 44 adet örselenmiş numune, 21 adet örselenmemiş numune ve 5 kuyudan Karot (CR) numuneleri analizleri yapılmıştır.



Şekil 1. Çalışma kapsamında yapılan sondajların lokasyon haritası.

Sondajlardan alınan numunelerden, Atterberg limitleri, elek analizleri, tabii birim hacim ağırlık, su muhtevası, konsolidasyon, üç eksenli basınç, kesme kutusu, nokta yükleme, serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Yapılan laboratuvar deneyleri ve ilgili deney standartları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Laboratuvar deneyleri ve standartları.

Deney Adı	Standart	Deney Adı	Standart
Elek Analizi	TS 1900-1 (Mart-2006)	Üç Eksenli Basınç Deneyi	TS 1900-2 (Mart-2006)
Atterberg Limitleri	TS 1900-1 (Mart-2006)	Şişme Yüzdesi	TS 1900-2 (Mart-2006)
Tabii Birim Hacim Ağırlık (X)	TS EN ISO 17892-2 (Şubat 2016)	Nokta Yükleme	TS 699 (Mart-2006)
Su İçeriği (Wn)	TS EN ISO 17892-1	Konsolidasyon (Sc)	TS 1900-2 (Mart-2006)

(TS, Türk Standardı; EN, Avrupa Standardı; ISO, Uluslararası Standartlar Birliği)

1:25.000 ölçekli jeolojik harita ve kesitler Netcad programı kullanılarak hazırlanmıştır. Arazi ve laboratuvar sonuçlarının birlikte değerlendirmesiyle sıvılaşma, taşıma kapasitesi hesaplamaları yapılmış, bölge sel baskını, kaya düşmesi, kayma, çığ gibi doğal afetler bakımından incelenmiş ve yerleşime uygunluk haritaları hazırlanmıştır.

3. Bulgular

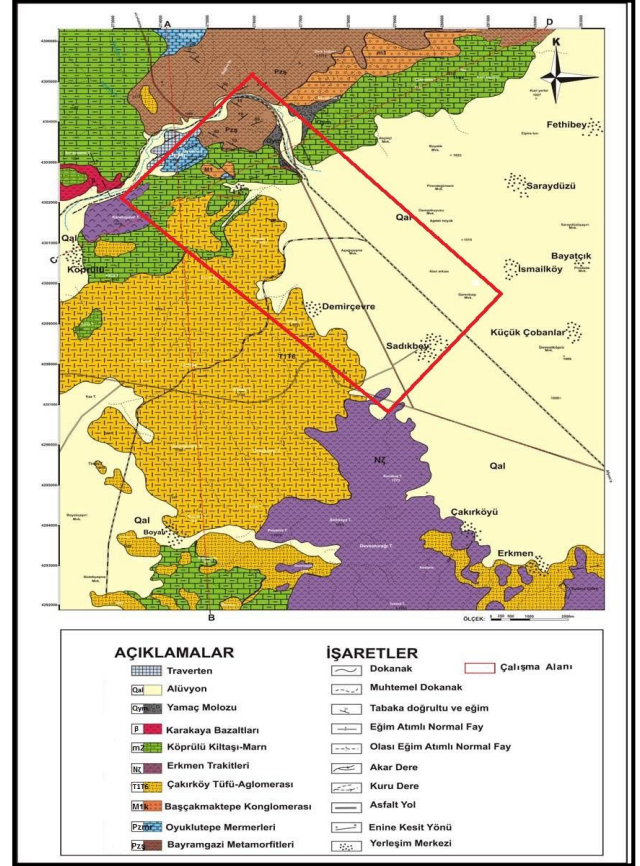
3.1. Genel Jeoloji

Çalışma alanı ve yakın çevresinde Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfite temeli oluşturmaktadır. Metamorfikler Bayramgazi şistleri ve Oyuklutepe mermerlerinden oluşmaktadır. Metamorfiklerin üzerine uyumsuzlukla Başçakmaktepe konglomerası ve Köprülü volkano-sedimanter istifinden oluşan Orta-Üst Miyosen yaşlı Ömer-Gecek Formasyonu gelmektedir (Şekil 2; Şekil 3). Üst Miyosen yaşlı Erkmen volkanitleri bölgedeki volkanizmanın son ürünleridir. Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyonlar ise çalışma alanındaki en genç birimlerdir (Metin vd. 1987, Ulutürk 2009, Yıldız vd. 2011).

3.2. Hidrojeolojik Özellikler

Çalışma alanında en büyük akarsu uzunluğu 115 km²’yi bulan Akarçay deresidir. Nacak ve Gazlıgöl dereleri tarafından beslenen Akarçay deresi Eber ve Akşehir göllerine kadar uzanmaktadır. Ayrıca,

Afyonkarahisar kentinin yaklaşık 50 km doğusunda bulunan Eber Gölü Akarçay’ın drene ettiği sular ve yan derelerin yağışlı mevsimlerde taşıdığı yüzey suları ile beslenmektedir.



Şekil 2. Çalışma alanı ve yakın çevresine ait stratigrafik dikme kesiti (Ulutürk 2009).

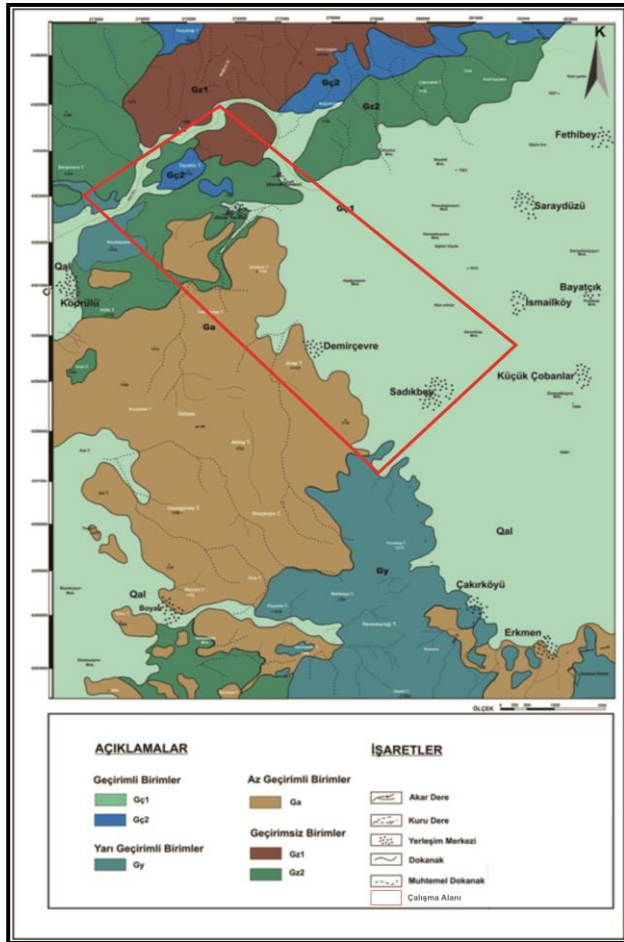
Üst Sistem	Sistem	Seri	Formasyon	Üye	Singne	Kalınlık (m)	KESİT	LİTOLOJİ
PALEOZOYİK	NEOJEN	Üst Miyosen-Pliyosen	Ömer-Gecek	Başçakmaktepe	Köprülü İnaz Erkmen Karakaya	m1k	9	9-Alüvyon
							8	8-Traverten
							7	7-Bazalt Kahverengi, kırmızı-mor renkli, akıntı yapılı, altığın soğuma sütlü ve tabakalı bazalt volkanizması
							6	6-Traki-andezit Kahve-mor renkli, sert yapılı 10cm'ye ulaşan sandın kristalleri içerir.
							5	5-Tüf-Aglomerası Sütlü beyaz renkli, kalın kalmantı, kuvars, plajiyoklas-oligoklas, andezit-biyotit lamelleri ve opak taneler içerir.
							4	4-Kilitaşı-Marn-Tüf Gösel, orta-ince tabakalı kilitaşı-camurtaşı ve marn ardalanması
							3	3-Konglomera Kalın kölü katmanlanmalı, taban konglomerası-kumtaşı; Silttaşı ve Kilitaşı ardalanmalı
							2	2-Mermer Sert, kristalize mermer, yer yer karstik boşluklu kalın tabakalanmalı, kıvrımlı
							1	1-Şist Kuvars-muskovit-serisit şist, kuvars-albit-klorit şist, meta kumtaşı, metakonglomera ve kalkışit ardalanmalı
							0	

Şekil 3. Çalışma alanı ve yakın çevresine ait stratigrafik dikme kesiti (Ulutürk 2009).

Çalışma alanının da içinde kaldığı Ömer-Gecek bölgesinde yer alan jeolojik birimler litolojik ve hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak Geçirimli (Gç), Yarı Geçirimli (Gy), Az Geçirimli (Ga), Geçirimsiz (Gz) olmak üzere sınıflandırılmıştır (Ulutürk 2009). Bu çalışmada da Ulutürk (2009)'ün yaptığı çalışmadaki verilere bağlı kalınmıştır (Şekil 4).

Çalışma alanında Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış 64 adet su kuyusu ve çok sayıda şahıslara ait su kuyusu bulunmaktadır. DSİ tarafından açılan soğuksu kuyularının derinlikleri 50-150 m statik su seviyeleri ise yüzeyden itibaren 3-6 m arasında ve debileri ise 10-40 lt/sn arasında değişmektedir (Şekil 5).

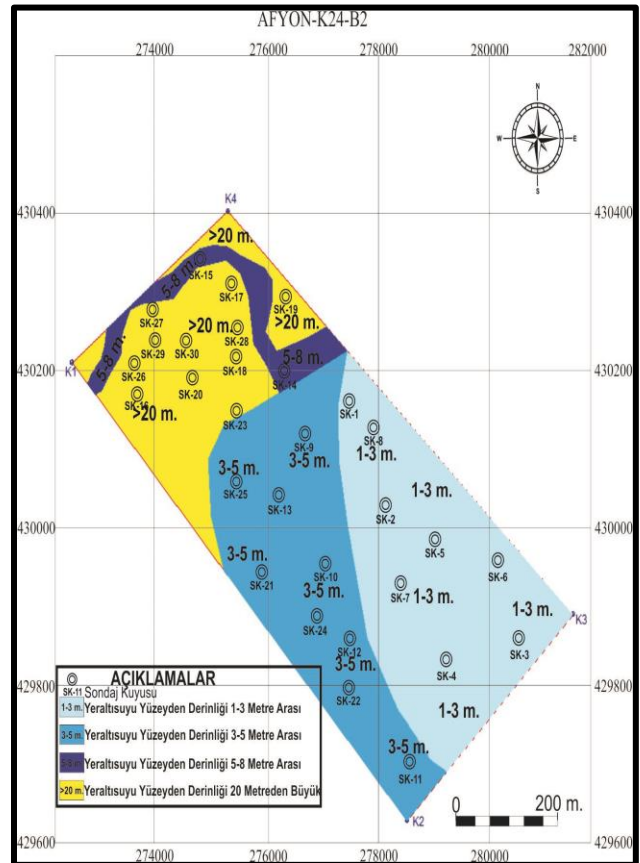
Çalışma alanı içerisinde açılan sondaj kuyularında 1.00-8.00 metre arasında değişen seviyelerde yeraltı suyuna rastlanılmış olup, yeraltı su seviyesine rastlanan sondaj kuyuları Çizelge 2'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Çalışma alanı ve çevresinin hidrojeoloji haritası (Ulutürk 2009).

Çizelge 2. Çalışma alanında açılan sondajlar ve yeraltısuyu seviyeleri.

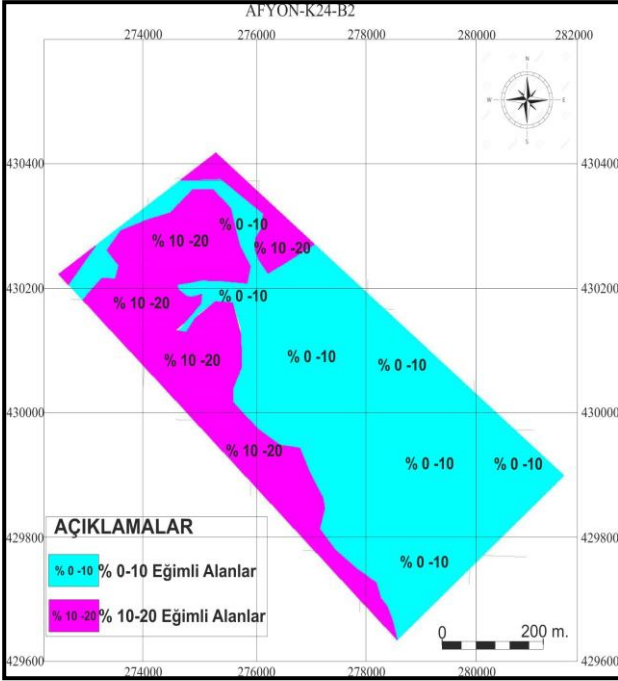
Sondaj No	Yas Seviyesi (M)	Sondaj Kuyu No	Yas Seviyesi (M)
SK-1	1,00-3,00	SK-16	-
SK-2	1,00-3,00	SK-17	-
SK-3	1,00-3,00	SK-18	-
SK-4	1,00-3,00	SK-19	-
SK-5	1,00-3,00	SK-20	-
SK-6	1,00-3,00	SK-21	3,00-5,00
SK-7	1,00-3,00	SK-22	3,00-5,00
SK-8	1,00-3,00	SK-23	3,00-5,00
SK-9	3,00-5,00	SK-24	3,00-5,00
SK-10	3,00-5,00	SK-25	3,00-5,00
SK-11	3,00-5,00	SK-26	-
SK-12	3,00-5,00	SK-27	-
SK-13	3,00-5,00	SK-28	-
SK-14	5,00-8,00	SK-29	-
SK-15	5,00-8,00	SK-30	-



Şekil 5. Çalışma alanının yeraltısuyu seviye haritası.

3.3. Jeomorfolojik Özellikler

Çalışma alanının, kuzeyi ve batısı dağlık, engebeli, doğusu ve güneyi ise, düz bir morfolojiye sahiptir. Yükseklik, çalışma alanının batısında ve kuzeyinde 1126 -1224 m arasında, doğusunda 1026 m'ye düşmektedir. Çalışma alanının eğimi genel olarak %0-10 ve %10-20 arasında değişmektedir ve eğimler kuzeybatı alanlarda güneydoğu alanlara göre daha yüksektir (Şekil 6).



Şekil 6. Çalışma alanına ait eğim haritası.

3.4. Yapısal Jeoloji ve Aktif Tektonik

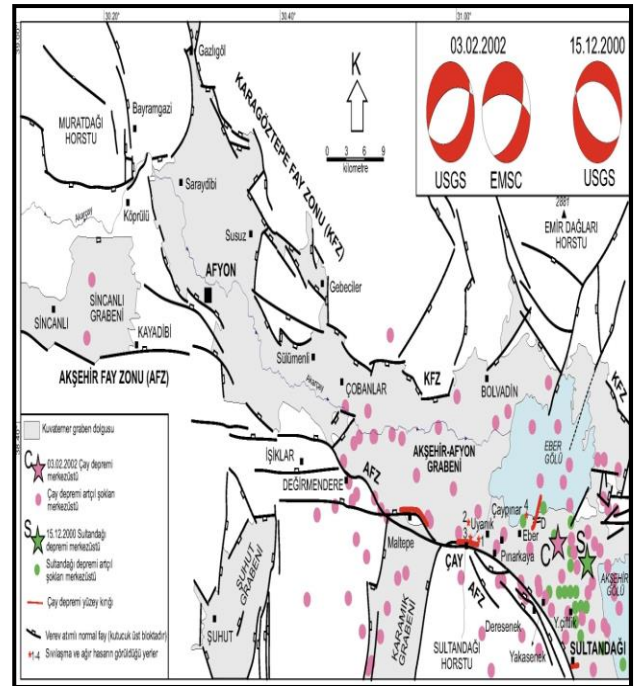
Güneybatı Türkiye'nin genişlemeli Neotektonik rejiminin etkisi altında kalan çalışma alanındaki en önemli tektonik yapı Afyon-Akşehir Grabeni (AAG) ve bu grabenin kenar faylarıdır. Bölgenin tektonik yapısı son olarak Koçyiğit ve Deveci (2007) tarafından incelenmiş ve Afyon-Akşehir Grabeni'nin kenar fayları Akşehir Fay Zonu (AFZ), Hamidiye Fay Zonu (HFZ), Yarımcı Fay Zonu, Fethibey Fay Zonu ve Demirçevre Fay Zonu olarak adlandırılmıştır. Söz konusu kenar faylarından çalışma alanı içerisinde yer alan Akşehir Fay Zonu, Fethibey Fay Zonu ve Demirçevre Fay Zonu şekilde gösterilmektedir.

3.5. Depremsellik

Dünya'nın sismik olarak en aktif alanlarından olan bu bölge, Türkiye'nin aktif tektoniğini kontrol eden Batı Anadolu graben sistemi ile Orta Anadolu Ova

rejiminin, geçiş yaptığı bir konumdur. Afyon-Akşehir Grabeni, bu bölgedeki tektonizmayı yönlendiren önemli mekanizmalardan biridir (Koçyiğit 1984, Koçyiğit vd. 2002) (Şekil 7).

ASFS' nin güneydoğu kesiminde yer alan Afyon-Akşehir grabeni (AAG), kuzeydoğuda yer alan Orta Anadolu ile güneybatıda yer alan Isparta açısını (Blumenthal 1963) birbirinden ayıran, yaklaşık 4-20 km genişliğinde, 130 km uzunluğunda olan, KB-GD uzanımlı, aktif olarak büyüyen bir kıtasal rift alanıdır (Özkaymak 2017).



Şekil 7. Afyonkarahisar İli ve Çevresindeki Simotektonik Haritası (Koçyiğit 2002).

3.6. Zemin ve Kaya Türlerinin Özellikleri

Bu araştırmadaki deneylerin değerlendirilmesinde farklı yaklaşımlardan faydalanılarak farklı taneli zeminler için tahmini ve birbiriyle karşılaştırması yapılmış, mevcut kuyulardaki litoloji ile yaklaşımlardan elde edilen değerlerin uyumluluğu araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, her bir örnek için ayrı ayrı belirlenen veya literatürde kabul edilen değerler kullanılarak, Hazen (1982), Kozeny-Carman (1927), Terzaghi (1964), ve Alyamani-Sen (1993) formülleri ile hesaplanmış, kuyularda kesilen farklı litolojiler için (kum, silt, kil) hangi hesaplamanın uygun olduğu bulunmuştur. Hesaplamalar birbiri ile karşılaştırılmış olup,

granülometri eğrilerinde malzeme tane boyu aralıklarını belirlemek için Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi (ASTM, 1992) kullanılmıştır.

Çalışma alanında sondaj kuyularında geçilen kaya, ayrılmış kaya, zemin özelliği gösteren birimlerin mühendislik özellikleri şu şekildedir:

Alüvyon birimlerin yüzeylendiği bölgede açılan sondaj kuyularının %100' nün ince taneli olduğu görülmektedir. Bunların yaklaşık %11' i düşük Plastisiteli Kil (CL), %36' sı düşük Plastisiteli KİL (CL) ve düşük Plastisiteli Silt (ML), %51' i killi Kum (SC) ve Siltli Kum (SM), %2' si kötü derecelenmiş kum (SP) ve Siltli Kum (SM)'den oluşmaktadır.

Ömer Gecek Formasyonuna ait birimlerin yüzeylendiği bölgede açılan sondaj kuyularının %100'nün ince taneli olduğu belirlenmiştir. Bunların yaklaşık %32' si düşük Plastisiteli Kil (CL), % 32' si düşük Plastisiteli KİL (CL) ve düşük Plastisiteli Silt (ML), % 34' i killi Kum (SC) ve Siltli Kum (SM), % 2' si kötü derecelenmiş kum (SP) ve Siltli Kum (SM)'den oluşmaktadır. Çalışma alanında açılan sondajlardan alınan numunelerde yapılan Atterberg Limitlerine göre zeminlerin Likit Limit değerleri %21-33 arasında, Plastik Limit değerleri %10-19 arasında, Plastisite İndisi %7-19 arasında dağılım göstermektedir. Ayrıca birimlerin su içeriği %15-31.5 arasındadır.

Ayrıca açılan sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar sonuçlarından elde edilen şişme değerlendirmesi Şekercioğlu (2002)'na göre Çizelge 3'te belirtilen indeks özelliklerine göre zeminlerin şişme yüzdesi, şişme basıncı ve derecesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 3. İndeks özelliklerine göre zeminlerin şişme yüzdesi, şişme basıncı ve derecesi (Şekercioğlu 2002).

Şişme Yüzdesi	Şişme Basıncı (KN/m ²)	Şişme Derecesi
>30	>1000	Çok Yüksek
20-30	250-1000	Yüksek
10-20	150-250	Orta
<10	<50	Düşük

Çalışma alanında açılan sondaj kuyularına ait örneklerin şişme yüzdesi %4-19 arasında, şişme basıncı 25-250 KN/m² arasında değişmektedir. Ayrıca örneklerin büyük bir bölümü düşük şişme derecesine sahipken, bir bölümünün ise orta derecede şişme özelliği gösterdiği belirlenmiştir. Buna göre şişme derecesinin düşük orta olarak çıkması yerleşime uygunluk haritasının oluşumunda çalışma alanının şişme probleminin olmadığı olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanı içerisinde gözlenen kaya birimleri genel anlamda sık çatlaklı ve ayrılmış bir yapıya sahiptir. Açılan sondaj kuyularında; karot yüzdesi %10-50 aralığındadır (Şekil 8). Birim ayrışma derecesi az-orta-çok ayrılmış sınıfta (W2-W3-W4) ve kaya kalitesi (RQD) Çizelge 4' e göre zayıf-orta olarak hesaplanmıştır.



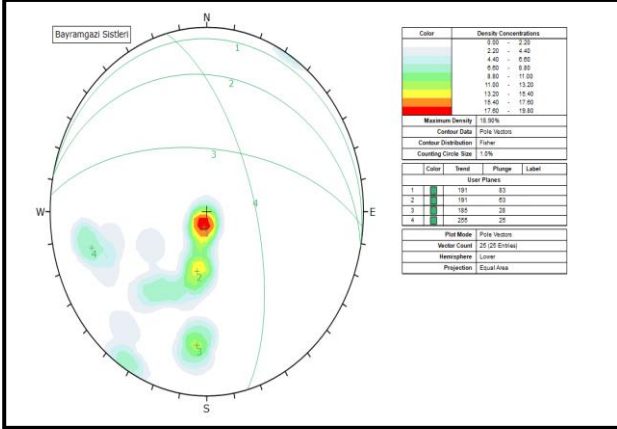
Şekil 8. Çalışma alanında incelenen sondaj kuyusuna ait karot sandığı.

Çizelge 4. Deere (1964)'e göre, kaya niteliği (RQD) sınıflandırılması.

(RQD %) Kaya niteliği	Kaya tanımı
0 - 25	Çok zayıf kaya
25 - 50	Zayıf kaya
50 - 75	Orta kaya
75 - 90	İyi kaya
90 - 100	Çok iyi kaya

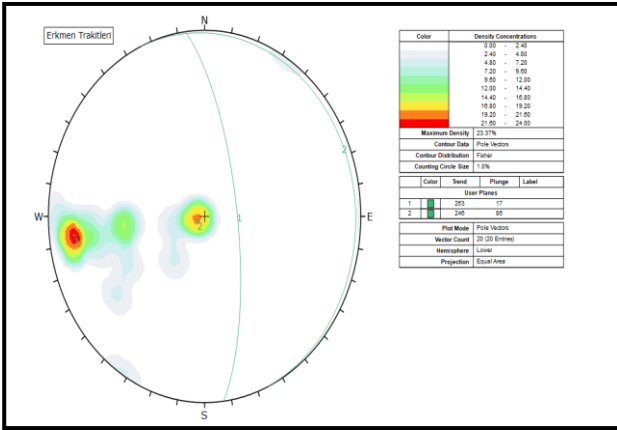
Ayrıca çalışma alanında yer alan kayaçların konum özelliklerini belirlemek amacı ile kontur diyagramları hazırlanmıştır. Bayramgazi şistlerinin

doğrultuları KD, eğim yönü ise, KB' ya doğrudur. Eğim miktarları genellikle 25°–30° arasında değişmektedir (Şekil 9).



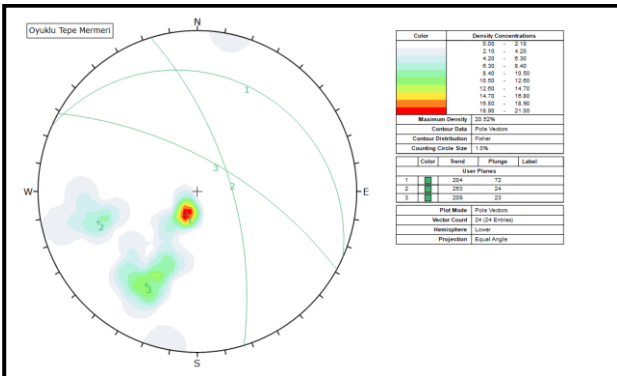
Şekil 9. Bayramgazi şistlerindeki şistozite düzlemlerinden alınan ölçümler Dips programı ile çözümlenmesi.

Erkmen Trakitleri K30-40B ve K10-30D doğrultulu, eğim yönlerinin ise, KB ve KD'dur (Şekil 10).



Şekil 10. Erkmen Trakitlerinden alınan ölçülerin Dips programı ile çözümlenmesi.

Oyuklu tepe Mermerlerden alınan ölçümlere göre (Şekil 11).



Şekil 11. Oyuklu tepe Mermerlerinden alınan ölçülerin Dips programı ile çözümlenmesi.

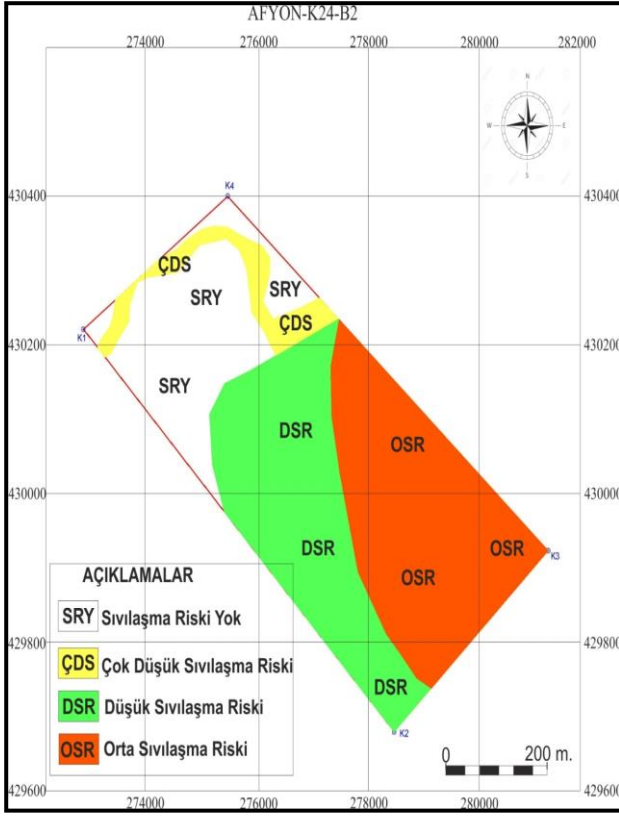
3.7. Sıvılaşma Potansiyeli

Literatürde ilk defa Terzaghi (1947) tarafından kullanılan zemin sıvılaşması kavramı; depremlerin oluşturduğu tekrarlı yüklerin etkisiyle suya doymun zeminlerin sıkışma ve hacim daralması göstererek, drenajın olmadığı koşullarda boşluk suyu basıncının artmasıyla kohezyonsuz zeminin sıvı gibi davranıp büyük yer değiştirmelere maruz kalmasıdır. Sıvılaşmanın oluşumunda birçok jeoteknik faktörler etkili olsa da genel olarak zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlılığını zemin özellikleri, jeolojik şartlar ve yer hareketi özelliklerinden de etkilemektedir. Bu durumda sıvılaşmanın gerçekleşmesi için en uygun ortamlar genç ve gevşek çökellerin olduğu, özellikle kum ve silt dane boyutundaki malzemenin bulunduğu ve yeraltı suyunun sık olduğu ortamlardır (Sünbül 2004).

Yeraltı su seviyesi, jeolojik birim, tane boyutu, SPT sayısı gibi faktörler sıvılaşma için önemli koşulları oluşturmaktadır. Genellikle 3 m ile 20 m derinlikteki yeraltı su seviyeleri önemlidir. Jeolojik birimler; ilk 15 m ile 20 m arasında bulunan ve taşıma gücü düşük suya doymun kumlu, siltli kumlu ve killi kumlu birimler; tane boyutu; D60/D10<10 olan kum-silt türü özellikle D10 değerinin 0.005 ile 0.15 mm. arasında olduğu birimlerdir. SPT sayısı; yüzeye yakın yerlerde N<10 ve 20 m derinlikte N<20 olan özellikle düşük göreceli sıkılıktaki kumlu yerler, sıvılaşabilir uygun ortamları oluşturur (Youd 1984).

Çalışma kapsamında incelenen birimlerin sıvılaşma potansiyeli Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ile Uyumlu JMO (2019) tarafından geliştirilen (sıvılaşma analizi) excell uygulaması ile değerlendirilmiştir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ile Uyumlu Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Potansiyeli Analizi Hesabı' na göre; LPI = 0-23 arasında Değişen Değerler olduğundan dolayı da çok düşük, düşük, yüksek ve çok yüksek sıvılaşma potansiyeline sahip ve LSI=0-58 aralığında elde edildiğinden çok düşük, düşük, orta sıvılaşma riski durumu mevcuttur (Şekil 12).



Şekil 12. Çalışma alanına ait sıvılaşma risk haritası.

4.Yerleşime Uygunluk Açısından Değerlendirilme

Yerleşim amaçlı arazi kullanımı, en önemli doğal kaynaklardan biri olan arazi varlığının farklı amaçlı kullanımlarından birini oluşturmaktadır. Arazinin potansiyeline uygun olmayan yanlış yer seçimi ve mekânsal büyüme süreci farklı doğal ve sosyal sorunları da beraberinde getirmektedir. Mekanı kullanma ve düzenleme süreçleri farklı olan kentsel yerleşim alanları başta olmak üzere, bütün yerleşme kademelerinde yer seçim ve genişleme süreçleri dikkatle takip edilmelidir. Bu nedenle mekânı kullanım kararlarının alınması ve uygulanması aşamasında; analitik yöntemleri içeren çeşitli araştırmalara ve kurum/kuruluşlar arasında uyumu sağlayan katılımcı planlamalara ihtiyaç duyulmaktadır (Yılmaz, 2005; Schmoldt vd. 1995; Bojórquez-Tapia vd. 2001).

Yerleşime uygunluk analizinde farklı yöntemlerin birleştirilerek kullanılması ve çalışma ölçeği, araştırmacının özgünlüğünü ortaya

koymaktadır. Bunun yanı sıra değerlendirmeye alınan coğrafi faktörler ve kullanılan yaklaşım açısından da önemli analitik sonuçlar elde edilmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlar, yerleşime uygunluk analizi ve yer seçim sürecine ilişkin çalışmalar açısından önemli bir basamak niteliğindedir. Ayrıca elde edilen sonuçların planlamacı ve karar vericilere kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir. Fakat yerleşim alanlarına yönelik uygunluk analizlerinde yalnızca doğal çevre faktörlerini ele almak yerine sosyal ve teknik faktörlerin de değerlendirmeye alınması daha yararlı olacaktır (Duc 2006; Sedigheh 2009; Fu vd. 2009).

Çalışma alanının mühendislik jeolojik ve jeoteknik özellikleri karşılaştırılarak AFAD (2008)'in yayınlamış olduğu 'Plan Kademelerine Göre Hazırlanacak Rapor Türleri ve Uyulacak Esaslar' dikkate alınarak uygun alanlar ve önlemler alanlar olarak değerlendirmeler yapılarak ayırt edilmiştir. Bu değerlendirmeler ışığında çalışma alanı yerleşime uygunluk bakımından, Uygun Alanlar-1 (UA-1), Önlemler Alanları-2.1 (ÖA.-2.1) (Önlem Alınabilecek Nitelikte Stabilite Sorunlu Alanlar) ve Önlemler Alanları-5.1 (ÖA.-2.1) (Önlem Alınabilecek Nitelikte Şişme, Oturma vb. Sorunlu Alanlar) olarak değerlendirilmiştir (Şekil 13).

Çalışma alanının belli bir bölümünde eğiminin %0-10 arasında yani düz ve düze yakın olması, sıvılaşma probleminin olmaması, şişme derecesinin düşük olması, oturma probleminin bulunmaması, çalışma alanında açılan sondaj kuyularında bina temellerini oluşturabilecek seviyelerde yeraltı suyuna rastlanılmaması, çalışma alanını etkileyebilecek, heyelan, kaya düşmesi, çığ düşmesi, karstik boşluk vb. doğal afet tehlikesinin bulunmaması nedenleriyle çalışma alanının bir kısmı yerleşime uygunluk açısından "**Uygun Alanlar-1**" olarak değerlendirilerek yerleşime uygunluk haritasında "**(UA-1)**" simgesi ile belirtilmiştir.

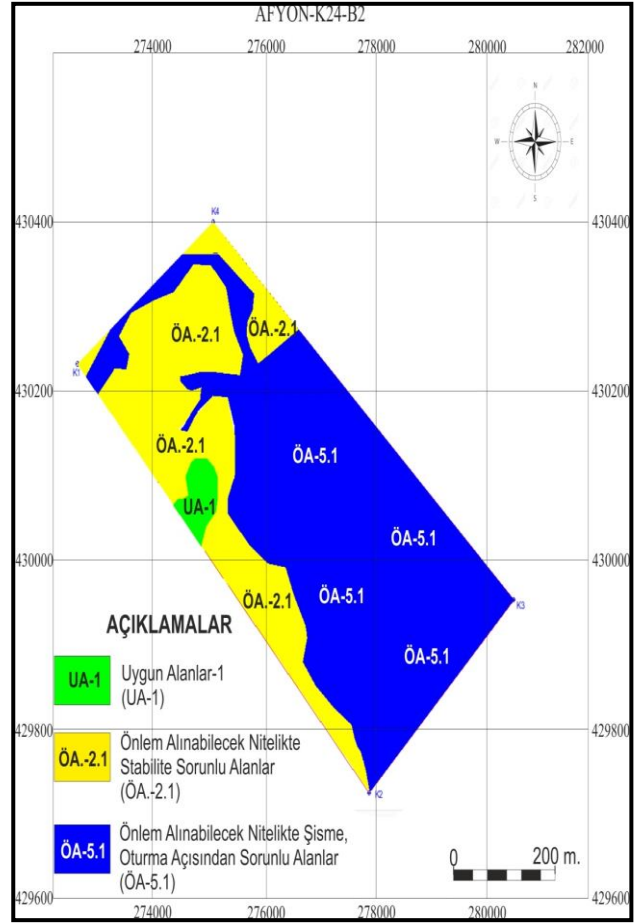
Çalışma alanının eğiminin %10-20 arasında değişen Ömer Gecek Formasyonu, Afyon Metamorfileri ve Neojen Yaşlı Volkanitlerin bulunduğu kısımlar (kiltası-marn-silttaş-kumtaş, şist, mermer ve andezitlerden oluşan kaya birimleri) ve bu birimlerin rezidüeli olan siltli kil, kumlu killi alanlardır.

Yerleşime uygunluk haritasında (ÖA.-2.1) olarak gösterilen alanlar, elde edilen veriler çerçevesinde yapılaşma ve yerleşime uygunluk açısından aşağıdaki gibi irdelendiğinde;

Bu alanlarda rezidüel zon kalınlığının fazla olması, kayaların ayrışmış ve çatlaklı yapıda olması nedenleri ile mevcut ve derin kazılarsa stabilite problemleri meydana gelebileceğinden, bu alanlar **“Önem Alınabilecek Nitelikte Stabilite Sorunlu Alanlar”** **“(ÖA-2.1)”** olarak belirlenmiş ve yerleşime uygunluk haritalarında **“(ÖA-2.1)”** olarak gösterilmiştir (Bkz. Şekil 12).

Çalışma alanı, elde edilen veriler çerçevesinde yapılaşma ve yerleşime uygunluk açısından aşağıdaki gibi irdelendiğinde;

Sıvılaşma riski, yeraltı suyunun varlığı, temel zeminini oluşturabilecek seviyede kil, silt ve kumdan oluşan temel mühendisliği yönünden zayıf birimlerin varlığı, alüvyonu oluşturan zeminlerin düşük-orta dereceli şişme potansiyeline sahip olması, birim içerisinde yanıl ve düşey yönde değişimler gerçekleşme ihtimali yapılacak binalarda farklı oturmalara vb. mühendislik problemlerine sebep olabilecektir. Ayrıca çalışma alanında yapılacak temel kazılarında yeraltı suyu ve stabilite problemlerinin yaşanma ihtimalinin olmasından dolayı çalışma alanında alüvyon birimin olduğu kısımlar mühendislik jeolojisi kapsamında önlem alınabilecek nitelikte şişme, sıvılaşma, oturma açısından **“Sorunlu Alanlar (Önem Alınabilecek Nitelikte Şişme, Oturma vb. Sorunlu Alanlar)”** **“(ÖA-5.1)”** olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 13. Çalışma alanının yerleşime uygunluk haritası.

5. Tartışma ve Sonuç

Çalışma alanı içerisinde yürütülen çalışmalarla depremsellik, jeolojik, morfolojik, hidrojeolojik zemin temel mühendisliği sonucu sahada gözlenen zeminlerin yatay ve düşey dağılımları, statik ve dinamik parametreleriyle özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen zemin parametrelerinden hareketle zemin davranışları da hesaba katılarak ve bölgede afet oluşturacak morfolojiler incelenerek çalışma alanı yerleşime uygunluk bakımından tartışılarak değerlendirme yapılmıştır.

Yapı temelleri kaya birimlerinin ayrışmamış, sağlam kesimlerine oturtulmalı ya da yapı yükleri kaya birimlerinin ayrışmamış, sağlam kesimlerine taşıttırılmalıdır. Parsel/bina bazı yapılacak zemin etütlerinde temel tipi, temel derinliği ve temelin oturacağı seviyelerin mühendislik parametreleri (şişme, oturma, taşıma gücü ve şev stabilite analizleri vb.) ayrıntılı olarak irdelenmeli ve doğacak problemlere göre önlemler alınmalıdır.

Oluşturulacak şevlerin stabilite sorunu yaratacak şekilde açılmaması eğimli bölgelerde açılacak şevlerin uzman mühendislerin hazırlayacağı bir proje dâhilinde yapılmalıdır. Yapılaşmalardan önce zemin etüt çalışmalarında şev üstüne gelecek ilave yükün doğal veya yapay şeve etkisi ile şev kenarına olan mesafenin etkileri, ilave yükün şev stabilitesini bozmayacak şev kenarına olan güvenli mesafenin belirlenmesi, şevin jeoteknik parametrelerinden doğabilecek problemlerin ayrıntılı çalışılarak, jeoteknik problemin niteliğine göre gerekli önlemlerden bir veya birkaçının alınması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün 17.FEN.BİL.45 nolu projesiyle desteklenmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederler.

6. Kaynaklar

Afet İşleri Genel Müdürlüğü, (2008). Planlamaya Esas Jeolojik-Jeoteknik ve Mikrobölgeleme Genelgesi, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

Akbaşlı Mühendislik, (2008). Afyonkarahisar (Merkez) ilave imar planına esas jeolojik etüt gerektiren alanların (JEGA) jeolojik ve jeoteknik etüt raporu, İller Bankası Genel Müdürlüğü, Ankara.

Alyamani, M.S., Sen, Z., (1993). Determination of Hydraulic Conductivity from Grain-Size Distribution Curves. *Groundwater*, **31**, 551-555.

ASTM, (1992). Classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System), ASTM D2487, 325-335.

Ayyıldız, M. (2006). Afyonkarahisar Zemin Etüt Bilgi Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 138.

Bojórquez-Tapia, L. A.; Díaz-Mondragón, S.; Ezcurra, E. (2001) Gis-based approach for participatory decision making and land suitability assessment. *International Journal Of Geographical Information Science* **15**, 129-151.

Coşkun, A.Ö. (2012). Polatlı (Ankara) Yerleşim Alanının Jeolojik-Jeoteknik Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans

Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 79.

Çevikbaş, A., Ercan, T., Metin, S. (1988). Geology and regional distribution of Neogene Volcanics between Afyon-Şuhut Middle East Technical University. *Pure Application*, **21**, 479-499.

Deere, D.U. (1964). Technical description of rock cores for engineering purposes. *Felsmechanik und Ingenieur geologie*, **1**, 16-22.

DSİ, (2013). Akarçay Havzası Yeraltısuyu Planlama Hakkında Hidrojeolojik Etüt Raporu. Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü, Ankara.

Duc, T. T. (2006) "Using GIS and AHP technique for land-use suitability analysis", International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences (GIS-IDEAS), 4-6 December Hanoi, Vietnam.

Erkan, Y., Bayhan, H., Tollluoğlu, Ü., Aydar, E. (1996). Afyon Yöresi Metamorfik ve Volkanik kayaların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, TÜBİTAK Proje Raporu, **1**, 25-75.

Fu, Y.; Zeng, G.; Du, C. ; Tang, L.; Zhou, J.; Li, Z. (2008) "Spatial analyzing system for urban land-use management based on gis and multi-criteria assessment modeling", *Progress in Natural Science* **18**, 1279-1284.

Gürsoy, H., Piper, J.D.A., Tatar, O. (2003). Neotectonic deformation in the western sector of tectonic escape in Anatolia paleomagnetic study of Afyon region, central Turkey. *Tectonophysics*, **374**, 57-79.

Harut, B. (1995). Erkmen Volkanitlerinin Afyon Kuzey Kesimi Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 93.

Hazen, A. (1892). Some Physical Properties of Sands and Gravels, with Special Reference to their Use in Filtration. 24th Annual Report, Massachusetts State Board of Health, Pub.Doc. **34**, 539-556.

İller Bankası Genel Müdürlüğü, (2006). Afyonkarahisar (Merkez) İlave ve Revizyon İmar Planına Esas Jeolojik Etüt Raporu, İmar Planlama Dairesi Başkanlığı, Jeolojik Etüd Şube Müdürlüğü, Ankara.

Karamanderesi, İ.H. (1972). Afyon K24 paftası detay jeoloji etüdü ve jeotermal olanaklar hakkında rapor. Maden Teknik Arama, Rapor No: 5733.

- Koçyiğit, A. (1984). Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, **27**, 1- 15.
- Koçyiğit, A. (2000). Güneybatı Türkiye'nin Depremselliği. Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, 175-183.
- Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Kaymakçı, N., Şaroğlu, F. (2002). 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depreminin Kaynağı ve Ağır Hasarın Nedenleri Akşehir Fay Zonu Jeolojik Ön Raporu, Ankara.
- Koçyiğit, A., Devenci, Ş. (2007). Trending Active Extensional Structure, The Şuhut (Afyon) Graben Commencement Age Of The Extensional Neotectonic Period in the Isparta Angle. *Turkish Journal Earth Sciences*, **10**, 391-416.
- Kozeny, J. (1927). Uber Kapillare Leitung Des Wassers in Boden. *Sitzungsber Akad. Wiss Wien Math Naturwiss Kl ,Abt 2a*, **136**, 271-306.
- Metin, S., Genç, Ş., Bulut, V. (1987). Afyon ve dolayının jeolojisi raporu. Maden Teknik Arama Müdürlüğü, Ankara.
- Öktü, G., Kara, İ., Önder, İ. (1997). Afyon ilinde yer alan Ömer-Gecek-Uyuz- Hamamı, Alaplı-Kızık Hamamı ve Gazlıgöl jeotermal alanlarının detaylı etüd raporu. Maden Teknik Arama Müdürlüğü, Ankara.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Tiryakioğlu, İ., Baybura, T. (2017). Bolvadin'de Afyon-Akşehir Grabeni, Afyonda Gözlenen Yüzey Deformasyonlarının Jeolojik, Jeomorfolojik ve Jeodezik Analizi. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası 60. Türkiye Jeoloji Bülteni*, **60**, 169-188.
- Sarıcı, T. (2013). Kesme Kutusu Deneylerine ait Rapor, İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Malatya.
- Schomoldt, D. L.; Peterson, D. L; Smith, R. L. (1995) "The analytic hierarchy process and participatory decision making", *Proceedings of the 4th International Symposium on Advanced Technology in Natural Resource Management, Power, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda MD*.
- Sedigheh, L.; Habibi, K.; Koohsari, M.J. (2009) "An analysis of urban land development using multi-criteria decision model and geographical information system (a case study of Babolsar City), *American Journal of Environmental Sciences* **5**, 87-93.
- Sünbül, AB. (2004). Adapazari zeminlerinde sıvılaşma unsurlarının belirlenmesi ve sıvılaşmanın önlenmesi için çözümler geliştirilmesi, Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 141.
- Şekercioğlu, E. (2002). Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Terzaghi, K. (1947). Shear characteristics of quick sand and soft clay, *Proc.7th Texas Conference Soil Mechanics*, Paper 5.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., (1964). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Wiley, New York.
- Tolluoğlu, Ü. A., Erkan, Y., Yavaş, F. (1997). Afyon metasedimenter grubunun Mesozoik öncesi metamorfik evrim raporu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Ankara.
- Topal, T. (2000). Nokta Yükleme Deneyi İle İlgili Uygulamada Karşılaşılan Problemler, Teknik Not, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- TS-1901, (1975). İnşaat Mühendisliğinde sondaj yolları ile örselenmiş ve örselenmemiş numune alma yöntemleri, *Türkiye Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS-5141, (2016). Zeminlerin Elektrik Özgül Dirençlerine Göre Sınıflandırılması, *Türkiye Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, (2018). Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar. *Türkiye Cumhuriyeti*, Ankara.
- Ulusay, R. (2010). Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, 1. Baskı, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Ulutürk, Y. (2009). Afyonkarahisar Ömer-Gecek Dolayının Jeolojisi ve Suların Köksel Yorumu, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 195.
- Üç Eksen Mühendislik, (2018). Afyonkarahisar İli, Merkez İlçesi, Ömer-Gecek Havzasındaki Termal Turizm Alanının İmar Planına Esas Jeolojik- Jeoteknik Etüd Raporu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Mekânsal Planlama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Yıldız, A., Candarsayar, M.E., Bağcı, M., Türker, E., Ulutürk, Y., Uysal, M., Gökgöz, A., Erdgoan, E., Başaran, C., Çonkar, F.E. (2011). Afyonkarahisar İlinin jeotermal potansiyelinin araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi. 146, Afyonkarahisar.
- Yılmaz, E. (2005) Bir Arazi Kullanım Planlaması Modeli: Cehennemdere Vadisi Örneği, T.C. Çevre ve Orman

Bakanlığı, Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma
Müdürlüğü, Çevre ve Orman Bakanlığı Yayın No: 253,
DOA Yayın No: 37,
Tarsus.

Youd, T. L. 1984. Geological effects-liquefaction and associated ground failure. Geological and Hydrogeological Hazards Training rogram, United States Geological Survey Open-File Report **87**, 210-232.

İnternet Kaynakları

- 1) <https://www.google.com.tr/intl/tr/earth>

Araştırma Makalesi / Research Article

Hidrolik Çatlatma Uygulamaları için Gerçek Üç Eksenli Yeraltı Basınç ve Sıcaklık Simülasyon Hücresi Tasarım ve ÜretimiFeyzullah Ekrem ÇONKAR^{1*}, Ahmet YILDIZ¹¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Jeotermal ve Maden Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezicorresponding author *e-posta: feconkar@aku.edu.tr,
ayildiz@aku.edu.tr,ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1435-7089
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-9077-0628

Geliş Tarihi: 02.08.2021

Kabul Tarihi: 26.12.2021

Öz**Anahtar kelimeler**Hidrolik çatlatma;
Kızgın kuru kaya;
Jeotermal Enerji;
Gerçek Üç Eksenli
Sıkıştırma

Kızgın kuru kaya jeotermal sistemlerde rezervuar oluşturma uygulamalarının başarısı birçok faktöre bağlıdır. Saha çalışmaları öncesi yapılacak olan simülasyon ve laboratuvar testleri risk faktörlerinin en aza indirilmesi maliyetlerin düşürülmesi ve uygulamanın istenen zamanda başarı ile tamamlanması açısından önemlidir. Kızgın kuru jeotermal sistemlerde rezervuar oluşturma çalışmalarının laboratuvar ortamında test edilebilmesi için sıcaklık ve basıncı üç farklı eksenle simüle edebilen bir hücreye ihtiyaç vardır. Söz konusu simülasyon hücresi yardımıyla basınç ve sıcaklık koşulları altında hidrolik kırma işlemini de gerçekleştirebilecek şekilde tasarlamak ve imal etmek gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı; gerçek bir üç eksenli basınç ve sıcaklık hücresini tasarlayıp, üretmektir. Aynı zamanda bu cihazla beraber çalışacak olan ve hepsi birlikte hidrolik kaya çatlatma laboratuvarını oluşturacak olan diğer cihazlara da entegrasyonunu gerek mekanik gerekse elektronik olarak sağlamak çalışmanın bir diğer amacıdır. Çalışmada cihazın tasarımı için, önce CAD modeli tasarlanması ve ardından bu modelin CAE analizlerinin yapılması öngörülmüştür. Bu aşamadan sonra ise CAE analizlerine geçilerek mevcut modelin çeşitli koşullar altında maruz kaldığı deformasyonlar ve gerilmeler, basınç koşulları sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar "Toplam Deformasyon" ve "Von-mises" Gerilme Kriterleri olarak ortaya koyulmuştur.

Design and Production of True Triaxial Underground Compression and Heat Cell for Hydraulic Fracturing Applications**Abstract****Keywords**Hydraulic
Fracturing; Hot
Dry Rock;
Geothermal
Energy;
True Triaxial
Compressions

The success of reservoir creating applications in hot dry rock geothermal systems have been related to many factors. Simulation and laboratory tests are important both for minimizing risk factors and for time. Also it is important for minimizing investment and operating expenses. For such a laboratory work, there is a need for a simulation cell that can simulate the temperature and pressure in three different axes, while also allowing for hydraulic fracturing activities in it. The aim of this study is; To make a CAD design of a true triaxial stress and heat simulation cell which will allow the application of the hydraulic fracturing method under the true underground conditions and also to make CAE analysis of this CAD design in computer environment. This cell is designed to be compatible with many additional devices because it forms the heart of a hydraulic fracturing simulation laboratory. Hydraulic fracturing pump, acoustic gap analysis system, fracturing fluid mixing tank and permeability testing device will be developed with this device. In CAE analyzes, the deformations and stresses that the current model was subjected to under various pressure conditions were examined by finite element method. The results obtained from these analyzes are presented as "Total Deformation" and "Von-mises" Stress Criteria.

1. Giriş

Hem Kızgın Kuru Kaya (KKK) hem de geliştirilebilir Jeotermal Sistemler (GJS) Dünya üzerinde büyük bir enerji potansiyeline sahiptir. Jeolojik ve jeofizik araştırmalar da göstermiştir ki Ülkemizdeki enerji potansiyeli Dünya ortalamasının da üzerindedir. Türkiye kıtasal riftler hariç kızgın kuru kaya (KKK) ve geliştirilebilir jeotermal sistemlerin (GJS) oluşmasında etkin jeolojik koşulların hepsine sahiptir. Bu etmenler ise levha sınırları, kabuk incelleme yerleri, stratovulkanlar, derin köklü granitler ve radyoaktif bozulmalar olarak belirtilebilir (Burçak 2011). Bazı detaylı araştırmalar göstermiştir ki Türkiye'nin 3-5 km arası KKK ve GJS potansiyel ciddi derecede yüksektir. Türkiye'nin 3-5 km arası teknik ve ekonomik toplam GJS üretim potansiyeli 250000 MWe'dir (20\$cent/kWh) (Mertoğlu 2015). Türkiye böyle yüksek bir KKK ve GJS potansiyeline sahip olmasına rağmen, sahada endüstriyel ölçekte yapılmış herhangi bir KKK ve GJS rezervuar geliştirme çalışması bulunmamaktadır. Buna ek olarak laboratuvar ölçeğinde çatlatma testi, makine geliştirme, kimyasal geliştirme veya deneysel ekipman geliştirme çalışmaları da bulunmadığı için makale konusuyla ilgili Ülkemizdeki çalışmalar ağırlıklı olarak kaynak tespitine yöneliktir.

Yeraltındaki streslerin ve ısının simülasyonu bu tür bir laboratuvarın temelini teşkil etmektedir. Bu tür bir simülasyon hücresini Frash and Gutierrez (2014) çalışmalarında geliştirmiş ve bu cihaz her üç ekseninde birbirinden bağımsız olarak 13 MPa'a kadar basınç uygulayabilmekte ve gene numuneyi 180 ° C'ye kadar ısıtabilmektedir (Frash and Gutierrez 2014). Bu tür bir çalışma için diğer bir önemli ekipman ise hidrolik çatlatma işlemini gerçekleştirebilecek bir pompadır. Frash and Gutierrez (2014) çalışmalarında Teledyne ISCO firmasına ait 65DM model hidrolik şırınga pompayı kullanmışlardır.

Bu makinelerin tasarım sürecinin önemli bir bölümü bilgisayarda CAD ve CAE analizleri ile yapılmıştır. Zhang and Fan (2013) çalışmalarında stres

hücrelerini tasarlamak için Solidworks programını kullanmışlardır (Zhang and Fan 2013).

Benzer hücreler Çin gibi büyük sanayi ülkelerinde de son yıllarda tasarlanarak, kızgın kuru kaya sistemlerin devreye alınması için hız verilmiştir. Kızgın kuru kaya rezervuar sistemlerde en çok rastlanan rezervuar kayaç olan granit üzerinde sıcaklık, akışkan pompalama hızı ve üç eksenli gerilmelerin çatlatma geometrisine etkisini incelemek üzere Frash ve Gitez (2014) hücresine benzer bir hücre Çin'de Jilin üniversitesinde geliştirilmiştir. Bu çalışmada sıcaklık ve pompalama hızının artması ile çatlatma basıncının düştüğü gözlemlenmiştir. Aynı çalışmada artan pompalama hızının çatlak ağını daha kompleks hale getirdiği gözlemlenmiştir (Cheng *et al.* 2020).

Bu çalışma Ülkemizdeki kızgın kuru kaya jeotermal sistem araştırmalarında ihtiyaç duyulan hidrolik kaya çatlatma işlemleri için gerekli olan laboratuvar ölçekli gerçek üç eksenli yeraltı basınç ve sıcaklık simülasyon hücresi tasarım ve üretimini kapsamaktadır. Aynı zamanda geliştirilen bu makine ve teçhizatın bazı ön deney testleri de bu çalışma kapsamında yapılmıştır.

1.2 Hidrolik Çatlatma Performansı ve Üç Eksenli Gerilmeler Arasındaki İlişki

Hidrolik çatlatma geometrileri mekanik, hidrolik, jeolojik ve kimyasal etkilere bağlı olan karmaşık bir yapıdır (Warpinski, *et al.* 1985). Çatlak uzunluğu, yüksekliği, genişliği ve 3 boyutlu geometrisi hidrolik çatlatma uygulamalarında en önemli verilerdir. Laboratuvar ölçekli hidrolik çatlatma uygulamalarının büyük bir bölümü çok yönlü gerilmelere maruz bırakılan kayaç örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiş ve çatlak geometrisiyle ilgili veriler üretilmiştir. Bu çalışmalarda hidrolik çatlatma geometrisinin kayaç gerilim durumu, kuyu içi ve delik açma geometrisi, sıvı viskozitesi, enjeksiyon oranı, kayaç yapısı ve ölçek gibi faktörlere bağlı olduğu ortaya konmuştur (Warpinski *et al.* 1982, Anderson 1991, Romero *et al.* 1995, Ishida *et al.* 2004, Safari *et al.* 2013, Taleghani and Olson 2014).

Hidrolik çatlatma sırasında çatlatma performansı ve verimi iki faktör tarafından denetlenmektedir. Bunlar çatlatma basıncı ve çatlatma geometrisidir. Çatlatma basıncının hesaplanabilmesi için bugüne kadar birçok çalışma yapılmıştır. İlk önemli

çalışmalardan biri olan Hubbert and Willis (1957)'e ait "Mechanics of Hydraulic Fracturing" adlı çalışmasında çatlatma basıncının en düşük eksenel gerilmeye eşit olacağı ifade edilmiştir. Ayrıca araştırmacılar, çatlatma basıncının hesaplanmasında boşluk basıncı ve litostatik basıncın önemi vurgulamışlardır. Bu çalışmada çatlatma basıncı aşağıdaki formülle tahmin edilmektedir:

$$P_c = (S_v - 2P_o)/3 \quad (1)$$

Burada çatlatma basıncının (P_c), litostatik basınç (S_v) ve boşluk basıncı (P_o) ile olan ilişkisi gösterilmektedir. Daha sonra petrol endüstrisinde hidrolik çatlama mekaniğini anlamaya yönelik çalışmalar yoğunlaşmıştır (Haimson ve Fairhurst 1967). Hidrolik çatlatmanın klasik teorisi ise 1967 yılındaki Haimson ve Fairhurst'un çalışmalarıyla şekillenmiş ve aşağıdaki formüller ortaya çıkmıştır:

$$P_c = (T + 3S_h - S_H - 2nP_o) / (2(1 - n)) \quad (2)$$

$$P_c = T + 3S_h - S_H - P_o \quad (3)$$

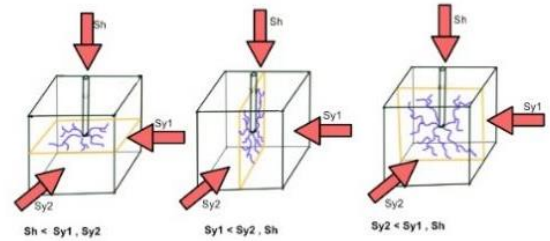
Buradaki T kayacın çekme mukavemeti, S_h ve S_H minimum ve maksimum yatay gerilmelerdir. Denklem (2) de ki n ise kayalar için proelastiklik katsayısı olarak ifade edilir ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$n = (a(1 - 2\nu)) / (2(1 - \nu)) \quad (4)$$

a = biot katsayısı olup 0 (sert, az geçirgen kayalar için) ile 1 (yumuşak ve geçirimli kayalar için) arasında değişmektedir. ν ise Poisson oranıdır ve 0 ile 0.5 arasında değişiklik (Kumtaşı:0.12, Granit:0.27) gösterir (Amadei and Stephanson 1997).

Çatlatma basıncının yanı sıra, çatlatma geometrisi üzerine yapılan çalışmalarda, çatlağın minimum asal gerilmeye dik düzlemde oluştuğu belirtilmiştir (Hubbert and Willis 1957). 300 metreden daha derin seviyelerde formasyonlarda litostatik basınç en yüksek basınç olarak düşünüldüğünden, en düşük basınç yatay gerilmelerden biri tarafından üretilmesi gerektiği ifade edilmiştir (Arop 2013). Bu durumda çatlak yatay düzlemlerden birine dik olarak gelişecektir. Yer kabuğundaki yatay stresler ise çeşitli kuvvetler ve ortamsal faktörlere bağlı

olarak oluşurlar. Bu faktörlerden en önemlileri tektonik plaka hareketleri, yoğunluk farkı ve termo-elastik kuvvetlerden kaynaklanan litosfer genişmesidir (Zoback *et al.* 1989). Bunun yanı sıra yatay kuvvetlerin oluşmasında litostatik basıncın da etkisi vardır (Şekil 1). Bu basınç matematiksel olarak yoğunluk, yerçekimi ivmesi ve derinliğin çarpımı ile elde edilebilmektedir (Zoback and Zoback 2002). Litosferdeki kayaç dayanımı derinlere inildikçe artmakta ve 10 km derinlikte en yüksek seviyesine ulaşmaktadır (Blackham 2015). Bununla birlikte derinliklere inildikçe meydana gelen sıcaklık artışı kayacın dayanımını düşürmektedir. Kayaçların 400° C sıcaklığının üstünde daha sünek bir yapıda oldukları ve bu durumun da kayaçların hidrolik çatlatma davranışlarını olumsuz etkilediği Blackham (2015) tarafından belirtilmiştir.



Şekil 1. Asal gerilmelere bağlı çatlak konumlanması.

Hidrolik çatlak geometrisi çatlak iletkenliği ve uyarılmış rezervuar hacmini etkilerken; bu durum kuyu üretimi ve enjektivitesinin değişimine neden olmaktadır. Doğru hidrolik çatlatma geometrisi verisi sıvı akış dinamiği ve uyarım etkinliğinin tahmin edilmesi açısından oldukça önemlidir (Perkins and Kern 1961; Geertsma and DeKlark 1969; Nordgren 1972). Çatlak uzunluğu ve genişliği uyarılmış rezervuar hacmini kontrol etmektedir. Çatlak açıklığı çatlakın hidrolik iletkenliğini etkilemektedir (Warpinski *et al.* 1982). Arazide kuyu boyunca çatlak geometrisinin ölçümü zor ve maliyetlidir. Halbuki laboratuvar uygulamaları küçük ebatlı numuneler kullanılarak hidrolik çatlak geometrisinin doğru bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamaktadır (Frash 2014).

2. Materyal ve Metot

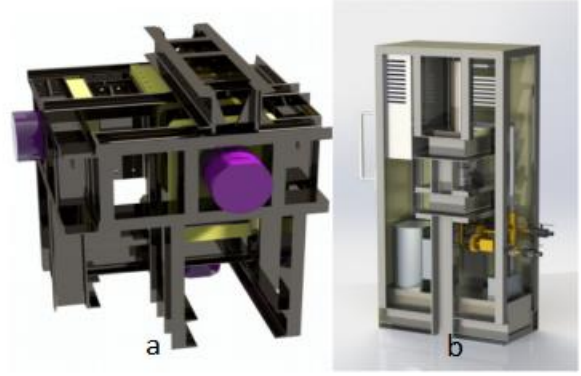
Çalışmamızda temel seviyede yeraltı basınç ve sıcaklık şartları altında hidrolik çatlatma gerçekleştirebilecek bir laboratuvar düzeneğinin kurulması planlanmıştır. Bu plan çerçevesinde iki ana makine ve bunlara bağlı yardımcı ekipman ve makineler tasarlanmış, ekipmana ait bazı parçalar satın alınmış veya imal edilmiştir. Bu makineler ve deney düzeneği sayesinde araştırmacılar Türkiye'deki kayaçların hidrolik çatlatma performanslarını inceleyebilecektir. Bunun yanında rezervuar oluşturma testleri, sıvı karışımları, yeni ekipmanlar ve sahada karşılaşılabilecek çeşitli senaryolar bu ekipmanlar ile test edilebilecektir.

2.1 Laboratuvar Yapısı ve Ekipmanlar

Temel test düzeneği bilgisayar kontrollü bir hidrolik şırınga (çatlatma) pompa, gerçek üç eksenli sıkıştırma ve ısı hücresi, sıvı karıştırma ve ön pompalama ünitesi ile porozite tayin etmek için tasarlanmış bir test cihazından oluşmaktadır.

Deneyle, kayaç içerisinde çatlatma prosesinde (çatlatma, çatlağı sürdürme, çatlağı açık tutma, yağlama, vb...) görev alması planlanan akışkanların istenen oranda karıştırılıp ön pompalama cihazından şırınga (çatlatma) pompa hücresine pompalanması ile başlayacaktır. Hidrolik şırınga (çatlatma) pompasına gelen sıvı pompada belirlenen hız ile söz konusu hücre içerisinde üç eksenli basınç ve sıcaklık koşulları altındaki kayaca enjekte edilecek ve kayaç çatlayıp kırılana dek pompalanmaya devam edecektir. Bu esnada basınç ve akışkan hızları kaydedilecektir.

Gerçek üç eksenli basınç hücresi değiştirilebilir plakalar ile tasarlanmıştır böylelikle 10x10x10 cm ile 40x40x40cm boyut aralığında numunelerin test edilebilecek ve her biri 200 ton kuvvet uygulayabilen silindirleri ile 150 MPa'a kadar basınç uygulayabilecektir. Ayrıca 2 adet sıkıştırma plakası arkasına yerleştirilen rezistanslar yardımı ile kayaç numunesini 200°C'ye kadar ısıtılabilir (Şekil 2).



Şekil 2. a) Gerçek üç eksenli sıkıştırma hücresi b) Hidrolik şırınga pompa modelleri.

Kırma akışkanları hem kırma başlatmak hem de kırığı açık tutmak için önemlidir. Bu gibi işlemler için farklı karışımlar gerekir aynı zamanda Farklı kaya numunelerini kırmak için gene onların mineralojik özelliklerine göre farklı sıvılar kullanmak gereklidir. Bu sebeple bir akışkan karıştırma ve ön pompalama tankı tasarlanıp üretilerek sisteme eklenmiştir (Şekil 3).

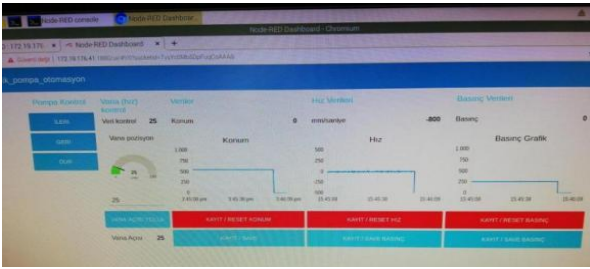


Şekil 1. Karıştırma ve ön pompalama tankı.

Çatlatma akışkanı üç eksenli basınç ve sıcaklık değerleri altındaki hücrede bulunan kayaca uygulamak için 30 tonluk hidrolik silindire bağlı bir şırınga pompa ekipmanı ile buna güç veren hidrolik güç ünitesi tasarlanmış ve imal edilmiştir (Şekil 4). Hidrolik şırınga pompa elektronik olarak yükleme hızı, piston konumu ve basınç değerlerini ölçerek bunlarla ilgili verileri kaydedilebilmektedir. Bu sistemin kontrolü ve kayıt yapabilmesi içinde ek bir yazılım geliştirilmesi gerekmektedir (Şekil 5).

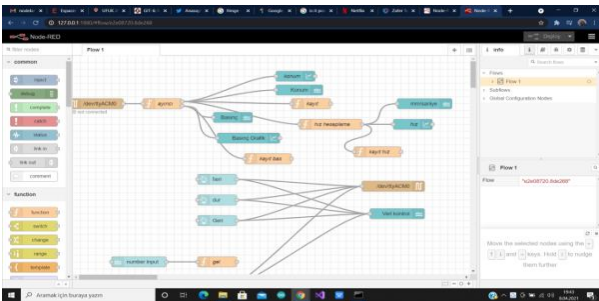


Şekil 2. Hidrolik şırınga pompa ünitesi.



Şekil 3. Hidrolik şırınga pompa arayüzü.

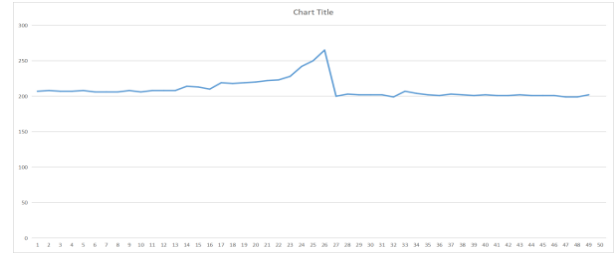
Gelecekte genişlemeye imkan verecek şekilde tasarlanan kontrol yazılımı iot altyapısı hazır bir şekilde tasarlanarak sisteme eklenecek otomatik dozajlama sistemi ve akustik emisyon gibi sistemlerle beraber çalışabilecek bir şekilde Node-Red kullanılarak yapılmıştır (Şekil 6).



Şekil 4. Node-Red program yapısı.

Başlangıç aşamasında alçı ve çeşitli beton numuneleri hazırlanarak ön çatlatma deneyleri yapılmıştır. Ön çatlatma deneylerinde numunelerin ve makinenin doğrulanmasını yanında çatlatma enjektörleri de test edilmiştir. 6 mm, 8 mm, 15 mm ve 18 mm çıkış çaplarında otomatik rekorlara sahip enjektörler ile çatlatma deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 7; 8). Böylelikle ana deney

düzeneği için veriler toplanarak uygun enjektör çapları da belirlenmektedir.



Şekil 5. Çatlatma sırasında kaydedilen basınç zaman grafiği.

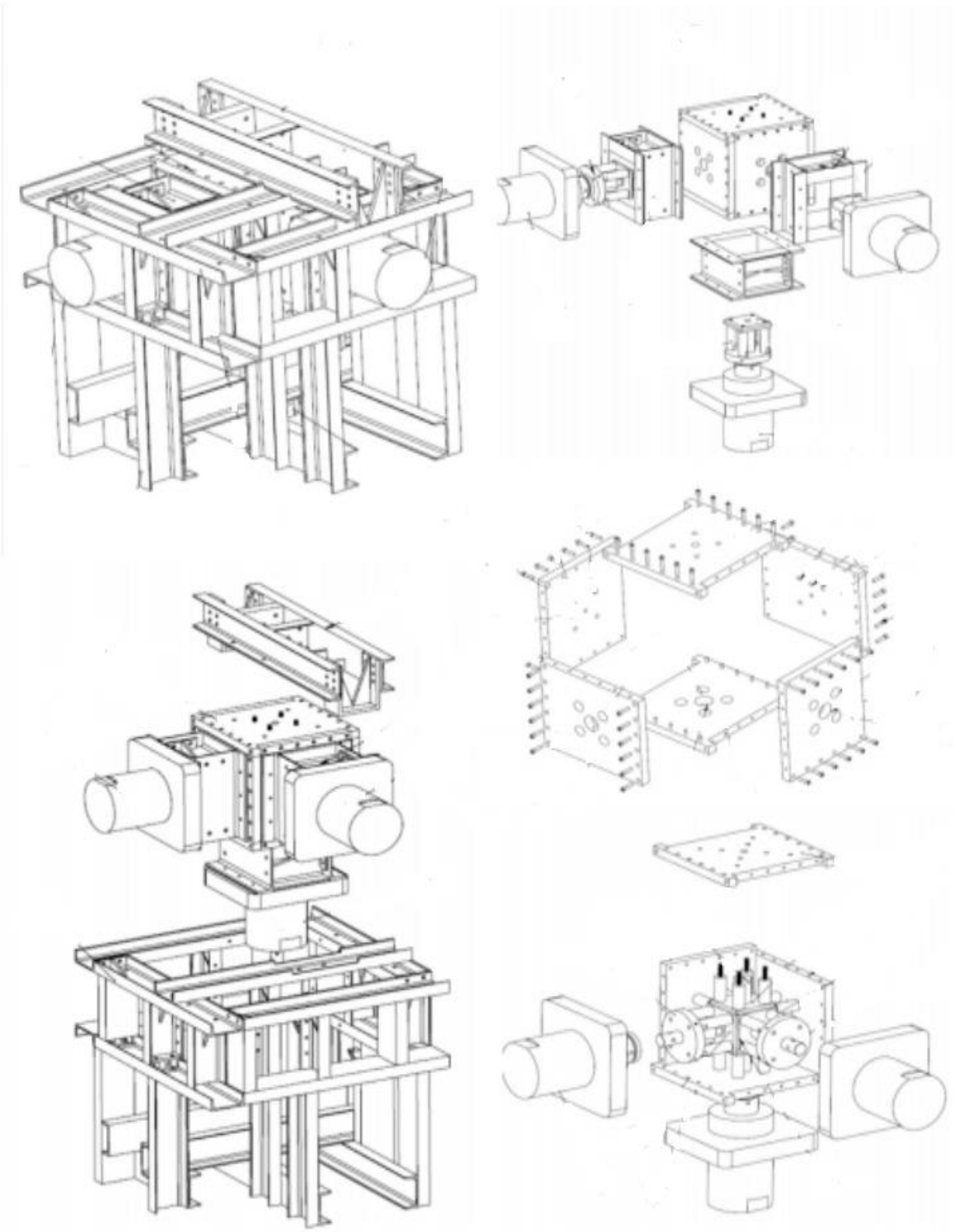


Şekil 6. Bazı çatlatılmış numuneler.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında elde edilen veriler kullanarak kararlar verilmesi, yönlendirmeler yapabilmesi ve optimum çatlatma performanslarını her koşul altında belirleyebilmesi ve sisteme bağlı cihazları da kontrol edebilmesi hedeflenmektedir.

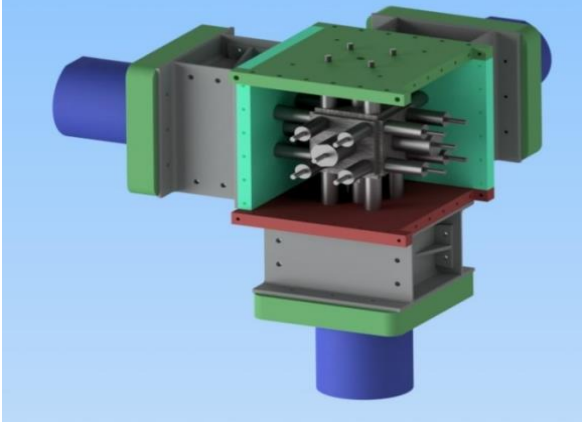
2.2 Gerçek Üç Eksenli Basınç Hücresinin CAD Tasarım Süreci

Bu makinenin yapılış amacı her üç ekseninde birbirinden bağımsız olarak hareket edebilen silindirler vasıtasıyla numunelere yük ve sıcaklık uygulamaktır. Bunun yanında, belirlenmiş sıcaklık ve basınç koşullarında tutulan numunelere hidrolik çatlatma pompaları aracılığı ile çatlatma işlemi de bu esnada uygulanabilmektedir.



Şekil 9. Hücresinin teknik çizimleri.

Gerçek üç eksenli sıkıştırma hücresi üç ana yapıdan oluşacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 9). Bu bölümler çelik U profillerden oluşan şase, 50 mm kalınlığındaki plakalardan oluşan iç hücre ve hidrolik ekipmanlardır (Şekil 10). Bunu yapmadaki amaç en verimli tasarımın bu olduğu sonucun yanında üretim ve montaj gibi kısıtlarda göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmesi en mümkün model bu şekilde tespit edilmiştir.



Şekil 10. Sıkıştırma hücresi iç görünümü.

Bu aşamadan sonra Makinenin CAD çizimlerine geçilmiş ve Autodesk inventor programı ile çizimler tamamlanmıştır.

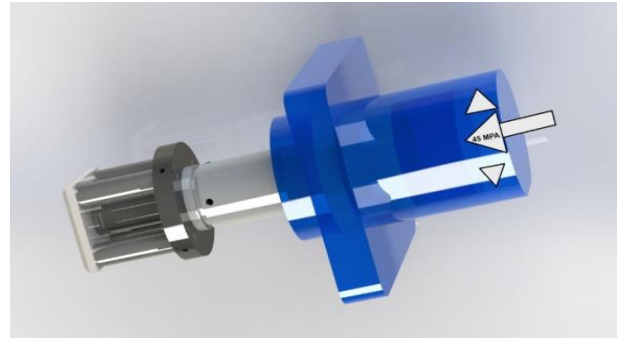
Şase üzerindeki bütün birleştirmeler kaynak olacak şekilde tasarlanmıştır. Bazı bölgelerde çekme ve kaynak hatalarına karşı önce vidalama ile birleştirme uygulanmıştır. Bunun yanında iç hücre de hem kaynak hem vidalama gerekli yerlerde kullanılmıştır. İç hücredeki 50 mm plakalar ST-52-3 çelikten üretilmiştir. Bu plakaların akma mukavemeti 355 MPa'dır. Hücre içindeki değiştirilebilir plaklar ile bunlara bağlı destek malzemeleri C45E çelikten imal olacak şekilde tasarlanmıştır. C45E çeliğin akma mukavemeti 430 MPa'dır.

2.3 Hücrenin Sonlu Elemanlar (FEM) Analizi

Hücrenin mekanik dizayn sürecinin tamamlanmasının ardından, CAD modeli oluşturulmuştur. CAD modelinden sonra ise bu modelin deneyler sırasında maruz kalacağı kuvvetler sırasında uğrayacağı deformasyonları tespit etmek amacı ile sonlu elemanlar yöntemi ile makinenin

nihai CAD modeli test edilmiştir. Testler bilgisayar üzerinde ANSYS programı kullanılarak yapılmıştır.

Gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek ve sonuçlarımızın daha doğru olması amacıyla bir kaç tane yükleme modeli geliştirerek ANSYS test ayarlarını bu modeller üzerinden uygulamaları yapılmıştır. Yükleme modellerinden bir tanesi, yükleri direk olarak şaseye ve plakalara uyguladığımız direk yüklemeli modelidir. Bu model ayarlamaları ve işlenmesi daha kolay ve hızlı sonuç alınabilen bir model olmasına rağmen, gerçek senaryoya en yakın model değildir. Bu sebeple üç eksenli yükleme için daha gerçekçi olabilecek başka bir senaryo geliştirilmiştir. Bu senaryoya göre yükler direk olarak şase ve plakalara uygulanmak yerine hidrolik silindir içerisine pompanın uyguladığı yan basınç olarak uygulanmıştır. Hücrenin pistonu ve buna bağlı elemanlar hareketli olarak tasarlanarak silindir içerisindeki basınç ile bu ekipmanların basıncı hücre içerisindeki kayaca iletmesi sağlanmıştır. Silindirlerin her birinin içerisindeki basınç 45 MPa olacak şekilde ve sıvı basıncı olarak silindirin her yüzeyine temas edecek şekilde ayarlanmıştır. Bu şekilde daha gerçekçi bir model elde edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Silindir içi basınç model.

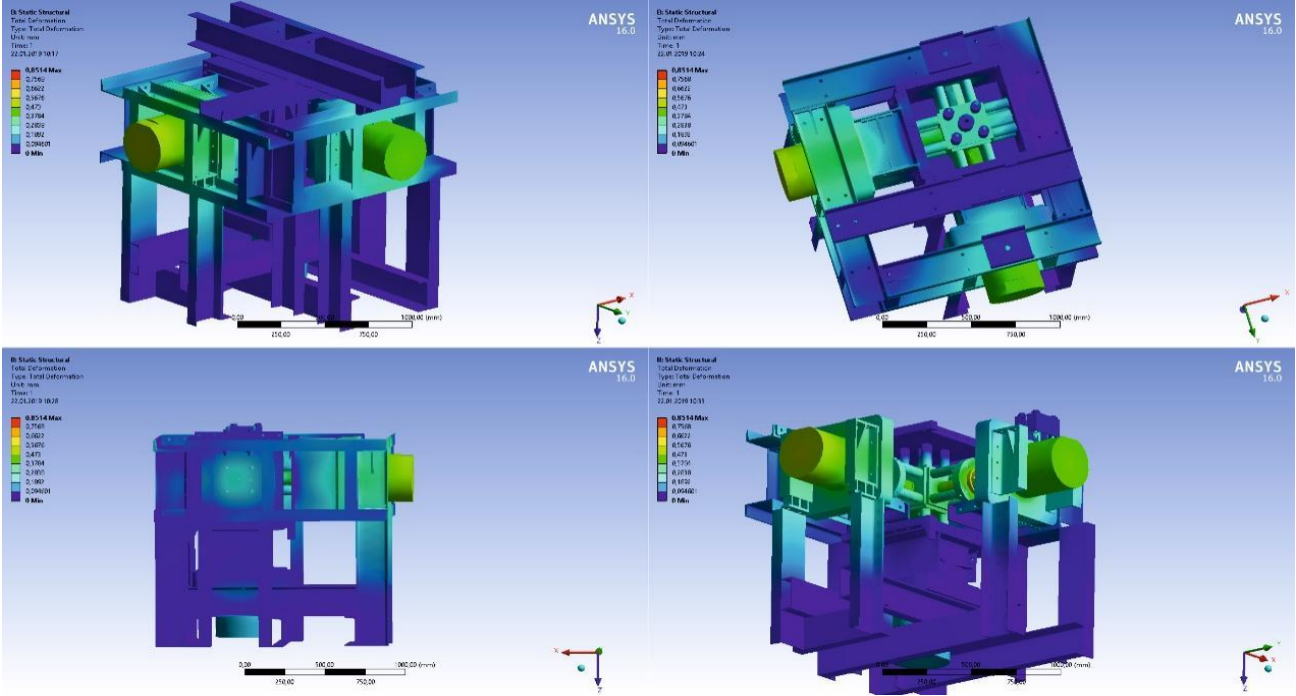
Bu şekilde belirlenen simülasyon ayarlarını; ANSYS programında da doğru bir şekilde yapabilmek ve bu ayarlarda hücrenin dayanım testlerini yapabilmek için ANSYS test ayarları da uygun şekilde düzenlenmiştir. Bunun için; şase ve hücre üzerindeki bütün bağlantılar kaynaklı olarak ayarlanmıştır. Sadece silindir pistonu ve silindir arasındaki bağlantılar sürtünmesiz olarak seçilmiştir. Böylece basınç makina üzerinde noktalara düzgün ve

gerçekçi bir şekilde iletilebilmiştir. Bütün modelin destek noktaları ise şasenin yerle temas eden bacakları olarak seçilmiştir.

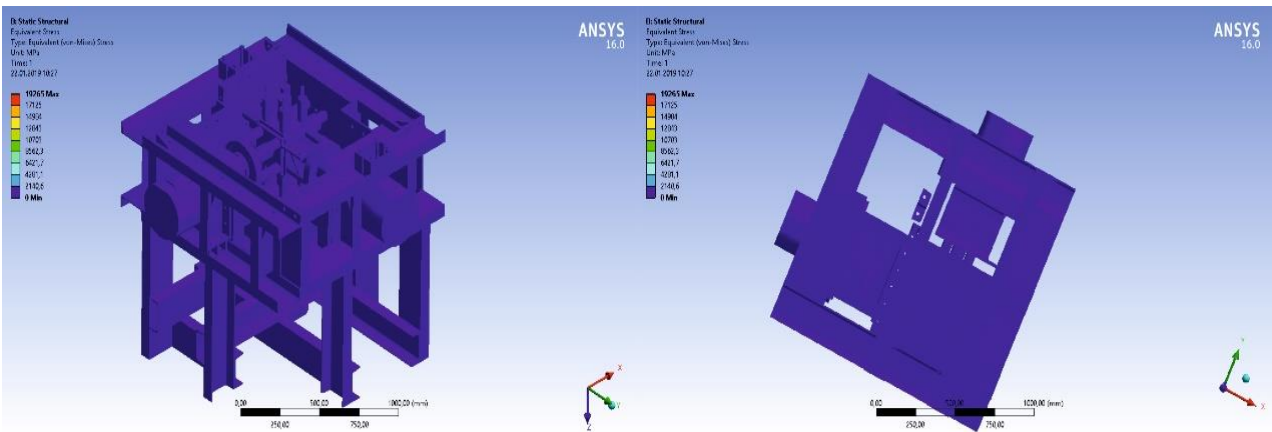
Toplam deformasyon analizleri genel olarak göstermektedir ki, tam yükleme, 45 MPa'lık basınç sırasında hücre içerisinde bazı deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu deformasyonlardan en yükseği 0,86 mm ile yatay hidrolik piston kollarında meydana gelmektedir. Şase üzerindeki en yoğun

stres bölgeleri ise pistonlarla sıkıştırma plakaları arasındaki bağlantılar üzerinde görülmektedir (Şekil 12). Toplam deformasyon analizinde iki adet hidrolik silindirin bulunduğu yatay eksenin daha fazla yüke uğradığı net bir şekilde görülmektedir.

Von Mises stres analizine göre ise, makine üzerinde herhangi bir plastik deformasyon gözükmemektedir. Makine güvenli alan içinde bu yükler altında çalışabilmektedir (Şekil 13).



Şekil 12. Toplam deformasyon analizi.



Şekil 13. Von Mises analizi.

3. Bulgular

3.1 Gerçek Üç Eksenli Yeraltı Basınç ve Sıcaklık Simülasyon Hücresi Tasarımı

Hücrenin CAD tasarımı Afyon Kocatepe Üniversitesi Jeotermal ve Maden Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır. Modelin oluşturulmasında birçok farklı çalışmadan ve hidrolik press sektöründeki üreticiler ile makina sektöründeki üreticilerden fikir ve görüş alınmıştır. CAD tasarımı için AUTODESK Inventor Programı kullanılmıştır.

Toplam deformasyon analizleri genel olarak göstermektedir ki, tam yükleme, 45 MPa'lık basınç sırasında hücre içerisinde bazı deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu deformasyonlardan en yükseği 0,86 mm ile yatay hidrolik piston kollarında meydana gelmektedir. Şase üzerindeki en yoğun stres bölgeleri ise pistonlarla sıkıştırma plakaları arasındaki bağlantılar üzerinde görünmektedir. Bu analizler ANSYS programının öğrenci sürümünde yapılmıştır.

Toplam deformasyon analizinde iki adet hidrolik silindirin bulunduğu yatay eksenin dikey eksendeki tek bir hidrolik silindire göre daha fazla yüke uğradığı net bir şekilde görülmektedir.

45 MPa'lık basınç uygulayan üç adet silindir ile yapılan Von Mises stres analizine göre ise makine üzerinde herhangi bir plastik deformasyon gözükmemektedir. Maksimum Von Mises gerilmesi değeri 19266 MPa, minimum gerilme ise 0 MPa olarak analizler sonucunda ortaya çıkmıştır. Makine güvenli alan içinde çalışabilmektedir.

Bu simülasyonlar sonucunda ulaşılan veriler neticesinde seçilen malzemeler ve bunların özelliklerinin hücrenin yapımına uygun olduğu ve malzemeler kullanılarak imalata başlanmasına

3.2 Gerçek Üç Eksenli Yeraltı Basınç ve Sıcaklık Simülasyon Hücresi Üretimi

Büyük ölçüde CAD modeline sadık kalınarak yapılan hücrenin son hali Afyonkarahisar sanayisinde yaklaşık bir senelik bir imalat süreci neticesinde tamamlanarak Afyon Kocatepe Üniversitesi Jeotermal ve Maden Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi Hidrolik Çatlatma ve Rezervuar Geliştirme Laboratuvarı'nda kurulumu yapılmıştır.

İmalat süreci sırasında ise asıl CAD modeline çoğunlukla bağlı kalınmaya özen gösterilmiştir. Ancak gerek makinenin büyüklüğü gerekse imalat şartlarının güçlüğü bazı ufak değişikliklerin yapılmasını da kaçınılmaz hale getirmiştir. Bu değişiklikler arasında küp montajını kolaylaştırmak için eklenen sac kulaklar, bağlantı noktalarına kaynatılan ve kaynak işleminin doğru yapılmasını sağlayacak plakalar ile taşımaya kolaylaştırıcı olarak şaseye kaynatılan bazı halkalar sayılabilir.

Pompanın Üretiminde NPU 200 profiller şasede, ST52 çelik levhalar hücre yapısında ve C45E iç sıkıştırma plakalarında olacak şekilde kullanılmıştır.

İmalat sırasında birleştirme elamanı olarak vidalar ve kaynak beraber kullanılmıştır.

Gerçek üç eksenli yeraltı basınç ve sıcaklık simülasyon hücresi ile beraber üretilen ve laboratuvarında hidrolik çatlatma deneylerinin yapılmasını sağlayacak olan Hidrolik şırınga pompa, karıştırma ve ön pompalama tankı da üretilerek laboratuvar düzeneğine eklenmiştir.

Hidrolik şırınga pompa raspberry pi ve arduino tabanlı bir kontrol sistemine sahiptir. Basınç ve konum sensörlerinden gelen veriler burada gözetlenip kaydedilebilmektedir. Pompanın kontrolünün de yapıldığı bu yazılım Java tabanlı Node-Red dili kullanılarak yazılmıştır.

Bu ana ekipmanların yanında çeşitli ebatlarda (6, 8, 15 ve 18 mm) çatlatma enjektörleri, 2 ton kapasiteli bir vinç de yardımcı ekipmanlar olarak üretilip sisteme dahil edilmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. İmal edilmiş hücre ve ona bağlı vinç.

4. Tartışma ve Sonuç

Tasarımı ve üretimi yerli imkanlarla yapılan Gerçek Üç Eksenli Yeraltı Basınç ve Sıcaklık Simülasyon hücresinin benzerleri farklı ülkelerde yapılmıştır. Ülkemizde şimdiye kadar hidrolik çatlatma çalışmalarında kullanılmak üzere yerli hücre tasarımı ve üretimi yapılmamıştır.

Literatür incelendiğinde; Frash and Guiterez (2014) tarafından tasarlanıp üretilen hücre ile bizim çalışmamızdaki hücre benzer fonksiyonlara sahiptir. Ancak çalışmada; kalın çaplı bir boru içerisinde çok kısa stroklu hidrolik jackler ile sadece 30x30x30 cm³ numunelerin sıkıştırılabildiği bir hücre olarak tasarlanmıştır. Yaptığımız bu çalışmada ise tasarlanan hücre farklı ebatlarda numuneler için kullanılabilir olarak tasarlanmış ve üretilmiştir.

Bu çalışmanın patent başvurusu sırasında Çin'de Taiyuan University of Technology tasarlanan, ısıtma ve sıkıştırma fonksiyonları bakımından bu çalışmaya benzer bir makina için patenti alınmıştır (EPO CN104655495A 2013). Üretime geçip geçmediği bilinmeyen bu hücre ise birçok açıdan çalışmamızda tasarlanıp üretilen hücreden farklıdır. Patent savunması süren bu süreçte iki makina arasındaki temel farklar on başlık altında toplanmıştır. Bunlar: Şase yapısı, silindir montaj yerleri, hidrolik sıkıştırma takımı, sabit sıkıştırma plakaları, hücre yapısı, plaka

yapısı, cihaz kapasitesi, hidrolik silindir yapısı, üst sıkıştırma plakası ve çatlatma enjektörleridir.

Hidrolik çatlatma ve rezervuar geliştirme faaliyetlerini gerçek ortam şartlarına yakın şartlarda yapmak için geliştirilen makine, ekipman ve teçhizat ile bu konuda ülkemizde bulunmayan bir laboratuvar kurma imkanı olmuştur. Buradan yapılacak çalışmalar ve araştırmalar ile ülkemizde rezervuar geliştirme, hidrolik çatlatma, kızgın kuru kaya, geliştirilebilir jeotermal sistemler ve petrol rezervuarları alanlarında çalışmalar yapabilmek mümkün olacaktır.

Basınç ve sıcaklık hücresinin geliştirilme süreci devam edecektir. Hücre kullanıldıkça ve deneyler hücre içerisinde gerçekleştirildikçe hücrenin eksik yanları, geliştirilebilir yönleri tespit edilerek bir sonraki tasarım için bilgi toplanacaktır. Bu toplanan bilgi ve deneyim neticesinde yeni ve daha iyi hücreler yapmak mümkün olacaktır.

Hidrolik şırınga pompa ekipmanının geliştirilmesi de hücreye paralel olarak yapılan deneylerle beraber devam edecektir. Bu ekipmanın daha iyi veri toplama, işleme ve kaydetme gibi yazılımsal kabiliyetlerinin geliştirilmesinin yanında pompalama bölümü üzerinde de iyileştirmelere gidilmesi mümkün olacaktır. Çalışmalar ve deneyler yapıldıkça bu ekipman ile ilgili geliştirilebilir hususlar belirlenecek ve bunlar geliştirilecektir. Özellikle

pompalama kısmına tasarlanacak ve eklenecek yeni ekipmanlar bu makinanın performansını ve kabiliyetlerini artıracaktır.

Çatlatma ve rezervuar geliştirme deneylerinin ilerleyen aşamalarında çatlatma karışımları ve bunların verimlilikleri de incelenecektir. Değişik rezervuar kayaçları üzerinde denenecek olan çatlatma karışımlarının geliştirilmesi de bu deneyler sırasında olacaktır. Bu sıvıların değişik sıcaklık ve basınç koşulları altında oluşturdukları çatlak geometrileri ve bunların rezervuar özellikleri de kurulmuş olan ekipmanlar sayesinde gözlemlenebilecektir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün 17.FEN.BİL.62 ve 16.ARŞ.MER.02 nolu projeleriyle desteklenmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederler.

5. Kaynaklar

- Amadei B., Stephansson O., 1997. Rock stress and its measurements. Springer Science+Business Media Dordrecht. 499.
- Anderson, T.L., 1991. Fracture mechanics: fundamentals and applications. Boston: CRC Press.
- Arop, J.B., 2013. Geomechanical Review of Hydraulic Fracturing Technology. MIT, 291.
- Blackham, M., 2015. Geomechanics of hydraulic fracturing, Environmental effects of hydraulic fracturing, June.
- Burçak, M., 2011. Kızgın Kuru Kaya (Hdr: Hot Dry Rock) Ve Geliştirilebilir Jeotermal Sistemler (Egs: Enhanced Geothermal Systems), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara.
- Cheng, Y., Zhang Y., Yu, Z., Hu, Z., Yang, Y., 2020. An investigation on hydraulic fracturing characteristics in granite geothermal reservoir, *Engineering Fracture Mechanics*, **237**, 107252.

- Frash L.P, Gutierrez M.S., 2014. Laboratory-scale study of hydraulic fracturing in heterogeneous media for enhanced geothermal systems and general well stimulation. PhD Thesis, Colorado School of Mines, 144p.
- Geertsma, J., de Klerk, F., 1969. A rapid method of predicting width and extent of hydraulically induced fractures. *Journal of Petroleum Technology*, **21(12)**, 1,571-1,581.
- Geng Y, Hu Yaoqing, Liang W, Wu P. 2013. High temperature and high pressure coal and rock true triaxial fracturing and seepage test device and test method. EPO, CN104655495A.
- Haimson, B. and Fairhurst, C., 1967. Initiation and Extension of hydraulic fracturing in rocks. SPE Third conference on rock mechanics, *Society of petroleum engineers journal*, **7(3)**, 310-318.
- Hubbert, M.K. and Willis, D.G., 1957. Mechanics of hydraulic fracturing. *Transactions of Society of Petroleum Engineers of AIME*, **210**, 153-168.
- Ishida, T., Chen, Q., Mizuta, Y., Roegiers, J.C., 2004. Influence of fluid viscosity on the hydraulic fracturing mechanism. *Journal of Energy Resources Technology*, **126**, 190-200.
- Mertoğlu, O., Basarır, N. and Saraçoğlu, B., 2015. Turkey's Geothermal Potential on EGS - Enhanced Geothermal System, Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia.
- Nordgren, R.P., 1972. Propagation of a vertical hydraulic fracture. *Society of petroleum engineers journal*, **12(4)**, 306-314.
- Perkins, T.W., Kern, L.R., 1961. Widths of hydraulic fractures. *Journal of Petroleum Technology*, **13(9)**, 937-949.
- Romero, J., Mack M.G., Elbel, J.L., 1995. Theoretical model and numerical investigation of near-wellbore effects in hydraulic fracturing. In: Proceedings of the SPE Annual Technical Conference & Exhibition, Dallas, TX, 22-25 October.

- Safari, M., Gandikota, R. and Mutlu, U., 2013. Pulsed fracturing in shale reservoirs: geomechanical aspects, ductile-brittle transition and field implications. In: Proceedings of the Unconventional Resources Technology Conference, Denver, Colorado, 12-14 August.
- Taleghani, A.D., Olson, J.E., 2014. How natural fractures could affect hydraulic-fracture geometry. *Society of petroleum engineers journal*, **19(1)**, 161-171.
- Warpinski, N.R., Clark J.A., Schmidt R.A., Huddle C.W., 1982. Laboratory Investigation on the Effect of In-Situ Stresses on Hydraulic Fracture Containment. *Society of Petroleum Engineers Journal*, **22(3)**, 333-340.
- Warpinski, N.R., Brangan, P. ve Wilmer, R., 1982. In-Situ Stress Measurements at U. S. DOE's Multiwell Experiment Site, Mesaverde Group, Rifle. *Journal of Petroleum Technology*, **37(3)**, 527-536.
- Zhang, Q-İ, Fan T., 2013. A high-stress tri-axial cell with pore pressure for measuring rock properties and simulating hydraulic fracturing, *Measurement*, **49**, 236-245.
- Zoback, M.L., Zoback, M.D. ve diğerleri, 1989. Global patterns of tectonic stress. *Nature*, **341**, 291-298.
- Zoback, M.L., Zoback, M.D, 2002. Stress in the earth's lithosphere. Encyclopedia of physical science and technology, third edition, **16**, 143-154.