

YAYINCI
PUBLISHER

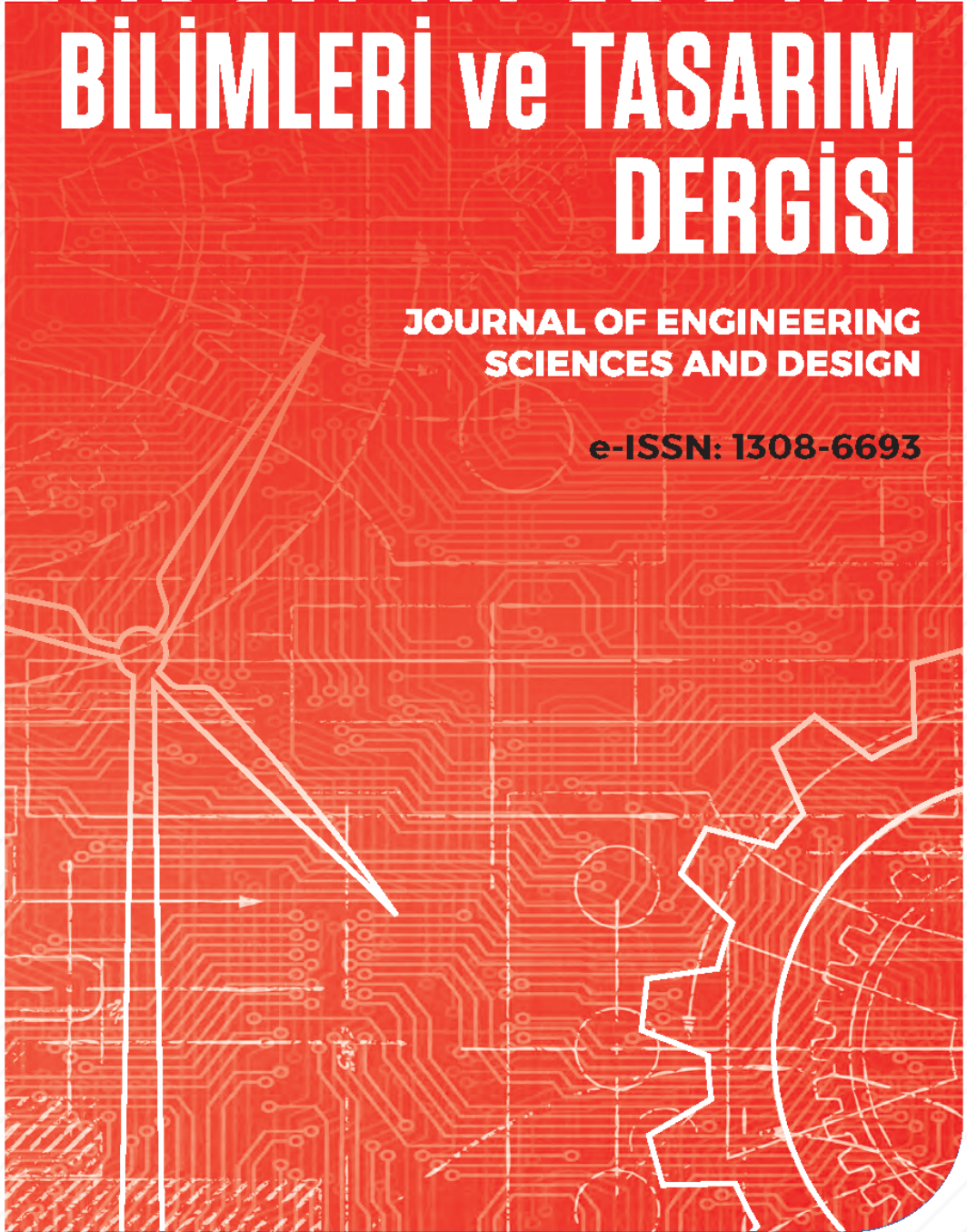


MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ve TASARIM DERGİSİ

**JOURNAL OF ENGINEERING
SCIENCES AND DESIGN**

e-ISSN: 1308-6693

Cilt/Volume: 11 **Sayı/Issue: 1** **Mart/March 2023**



İmtiyaz Sahibi / Owner

Deanery of Engineering Faculty, Suleyman Demirel University, Isparta, TURKIYE

Editörler / Editors

Gultekin OZDEMİR

Suleyman Demirel University, Isparta
(Baş Editör / Editor-in-Chief)

Sehnaz Sule KAPLAN BEKAROĞLU
Suleyman Demirel University, Isparta
(Editör Yrd. / Co-Editor)

Fatih Ahmet SENEL
Suleyman Demirel University, Isparta
(Editör Yrd. / Co-Editor)

Karani KURTULUS
Suleyman Demirel University, Isparta
(Editör Yrd. / Co-Editor)

Ali AGCAL

Suleyman Demirel University, Isparta

Çaglayan BALKAYA

Suleyman Demirel University, Isparta

Atilla BAYRAM

Van Yuzuncu Yil University, Van

Sehnaz Sule KAPLAN BEKAROĞLU
Suleyman Demirel University, Isparta

Mehmet Ali BELEN

Artvin Coruh University, Artvin

Ahmet CAGLAR

Akdeniz University, Antalya

Habib GURBUZ

Suleyman Demirel University, Isparta

Baris GUREL

Suleyman Demirel University, Isparta

Tahir Serkan IRMAK

Kocaeli University, Kocaeli

Mesud KAHRIMAN

Suleyman Demirel University, Isparta

Ayberk KAYA

Recep Tayyip Erdoğan University, Rize

Şemsettin KILINCARSLAN

Suleyman Demirel University, Isparta

Alper KUSCU

Suleyman Demirel University, Isparta

Mehmet Onur OLGUN

Suleyman Demirel University, Isparta

Mehmet OZCELİK

Suleyman Demirel University, Isparta

Muhammed Maruf OZTURK

Suleyman Demirel University, Isparta

Savas OZUN

Suleyman Demirel University, Isparta

Yunus PAMUKOĞLU

Suleyman Demirel University, Isparta

Olcay POLAT

Pamukkale University, Denizli

Hakan TONGAL

Suleyman Demirel University, Isparta

Volkan UZ

Izmir Institute of Technology, Izmir

Ali YALCIN

Suleyman Demirel University, Isparta

Mehmet Ali YALCINKAYA

Kırşehir Ahi Evran University, Kırşehir

Kerim YAPICI

Suleyman Demirel University, Isparta

Demet YILMAZ

Suleyman Demirel University, Isparta

Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board

Michael G. KAY
North Carolina State University, USA

Bedri TUC
Baskent University, Ankara, TR

Yun-Chia LIANG
Yuan Ze University, Taoyuan, TW

Erol TUTUMLUER
University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, USA

Alice E. SMITH
Auburn University, Auburn, USA

Fatma YALCINKAYA
Technical University of Liberec, Liberec, Czech Republic

Ravi SANKAR
University of South Florida, Florida, USA

Gerhard-Wilhelm WEBER
Poznan University of Technology, Poznan, PL

Yayın Editörleri / Technical Editors

Ayşe BIYIKLI
Suleyman Demirel University, Isparta

Yasemin SIMSEK TURKER
Suleyman Demirel University, Isparta

Mehmet KIR
Suleyman Demirel University, Isparta

Onur Mustafa UZUM
Suleyman Demirel University, Isparta

Sıla YAMAN
Suleyman Demirel University, Isparta

Yabancı Dil Editörü / Foreign Language Editor

Ahmet UNAL
Suleyman Demirel University, Isparta

Dizin ve İndeksler / Abstracting & Indexing

/ TR-DIZIN / EBSCOhost / SCILIT / ROAD / EuroPUB / SOBIAD /
/ Google Scholar / CrossRef

Duyurular / Announcements

Dergiye 01 Haziran 2022 tarihinden itibaren özgün "Araştırma Makalesi" türü dışındaki başvurular kabul edilmemektedir.

As of 01 June 2022, submissions other than the original "Research Paper" type will not be submitted.

İçindekiler / *Contents*

Araştırma / <i>Research</i>	Sayfa / <i>Pages</i>
1. UŞAK İLİ ÇEVRESİ İÇİN HİDROLOJİK KURAKLIK ANALİZİ Dilek TAYLAN Fatih TOKER	1-21
2. A Production Line Assignment Problem for a Textile Industry Naira ABDELSALAM İlayda ULKU Fardus MOHAMMOUD Akif Can KILIC Huseyin EDER Ahmed ABUYOUSEF Oncel KAYA	22-32
3. IMPACT OF LACTICASEIBACILLUS PARACASEI SUBSP. TOLERANS, LEVLACTOBACILLUS PARABREVIS AND LATILACTOBACILLUS CURVATUS STRAINS ON TEXTURE, RHEOLOGY AND MICROSTRUCTURE OF DAIRY-BASED FERMENTED PRODUCT Nilgün ÖZDEMİR	33-40
4. FARKLI FONKSİYONEL HAMMADDELERDEN ÜRETİLEN SOĞUKTAN KORUYUCU GİYİSİLERİN ISI YALITIM VE SIVI TRANSFER ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ Sultan ARAS ELİBÜYÜK Mustafa ÇÖREKÇİOĞLU Asil YILMAZ Fatma Filiz YILDIRIM Perinur KOPTUR Özlem DEMİR	41-56
5. DİL PEYNİRLERİNDEN ÜRETİLEN PEYNİR CİPSLERİNİN BAZI KİMYASAL, TEKSTÜREL VE DUYUSAL ÖZELLİKLERİ Sumeyra UGUR Bedia ŞİMŞEK	57-67
6. TIBBİ VERİ KÜMELERİNDE GENETİK ALGORİTMALARLA ÖZELLİK SEÇİMİ VE SINIFLANDIRMA BAŞARIMINA ETKİSİ Ömer DEPERLİOĞLU	68-80
7. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİSİ ALTINDA BURDUR GÖLÜ SU SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİNİN İSTATİSTİKSEL OLARAK İNCELENMESİ Murat PINARLIK Abdulkadir İBİŞ Zeliha SELEK	81-93

- [8. UÇUCU KÜL, SİLİS DUMANI VE TÜF İLE STABİLİZE EDİLMİŞ BENTONİTTE MEYDANA GELEN MOLEKÜLER DEĞİŞİMLERİN FOURIER DÖNÜŞÜMLÜ KIZİLÖTESİ SPEKTROSKOPİSİ \(FT-IR\) YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ](#) 94-112
Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU Zülfü GÜROCAK
- [9. PERFORMANCE IMPROVEMENT IN A 1 MW GRID-CONNECTED PV POWER PLANT INSTALLED IN YATAĞAN-MUĞLA TURKEY VIA STATCOM ON MATLAB-Simulink PORTAL](#) 113-125
Altan KALAY Ali AĞÇAL Koray ULGEN
- [10. SIVILAŞMA KAYNAKLI OTURMALARIN AZALTILMASINDA ÜST DOLGU TABAKASININ ETKİSİ: BİR VAKA ANALİZİ](#) 126-144
Merve AKBAŞ Ozan SUBAŞI Zeynep KAYGUSUZ Recep İYİSAN
- [11. BAFA GÖLÜ HAVZASI YÜZEY VE YERALTI SULARININ HİDROJEOKİMYASI VE KİRLİLİĞİ](#) 145-159
Ayşen DAVRAZ Şamil YILDIZ
- [12. Yer Radarı Verilerinde Yanal Yansımaların Göç ve Tersine Göç İşlemi ile Atılması](#) 160-169
İsmail KAPLANVURAL
- [13. Dairesel Boşluklu Çelik Çerçevelerin Optimum Tasarımı Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma](#) 170-183
Aybike ÖZYÜKSEL ÇİFTÇİOĞLU Tuğçe DOĞAN Betül ÜSTÜNER Erkan DOĞAN
- [14. Derin Zemin Karıştırma Yönteminde Nihai Taşıma Gücünün Belirlenmesi](#) 184-197
Mukaddes Tuğçe DİKMEN Nilay KESKİN
- [15. Entegre Bir Tekstil İşletmesinde Kimyasal Azaltımı ve Kimyasal Değişimi Uygulaması](#) 198-211
Emrah ÖZTÜRK
- [16. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİNDE BULANIK SWARA YÖNTEMİNİN KULLANIMI: OTOMOTİV SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ](#) 212-224
Eda BEYLİHAN Sermin ELEVLİ
- [17. AÇIK MADEN OCAKLARINDA İNSANSIZ HAVA ARACI \(İHA\) KULLANIMI](#) 225-235
Abdurahman Yasin YiĞİT Yunus KAYA Halil İbrahim ŞENOL
- [18. ÜRÜN GÜVENLİĞİ DENETİMİNDE UYGULANAN İDARİ PARA CEZALARININ TESPİTİ İÇİN AHP TEMELLİ BİR MODEL ÖNERİSİ](#) 236-253
Mevlüt Hürol METE Kağan KARADEMİR

19. ÇOK FAZLI MİKRODENETLEYİCİ TABANLI SENKRON DÜŞÜRÜCÜ DÖNÜŞTÜRÜCÜDE ÇALIŞMA MODLARININ VERİME ETKİSİNİN İNCELENMESİ	254-263
Bariş YENER Nihan ALTINTAŞ	
20. YEŞİL BİNA ÜRETİMİNDE LEED SERTİFİKALI YEŞİL OFİSLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	264-278
Rüveyda KÖMÜRLÜ Fatmanur ÖZDEMİR	
21. İSTANBUL AVRUPA YAKASINDA MEYDANA GELEN SİSMİK OLAYLARIN KAYNAK TÜRLEİNİN BELİRLENMESİ	279-297
Evrım YAVUZ	
22. YENİLENEBİLİR ENERJİ OLARAK BİYOGAZ: AKSARAY İLİ ÖRNEĞİ	298-309
Hülya BAKIRTAŞ Hatice ET YAPILCAN	
23. ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMİNDE ÇOKLU AMAÇ FONKSİYONLARINA BAĞLI OLARAK OPTİMUM AKIŞKANIN FARKLI ISI KAYNAĞI SICAKLIKLARI İÇİN BELİRLENMESİ	310-323
Sadık ATA Ali KAHRAMAN Remzi ŞAHİN	
24. AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİN ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİYLE ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYONU	324-335
Elif COŞGUN ŞAHİN Betül GULCİMEN CAKAN Mümin TUTAR Umut Onur ŞAHİN	
25. 3 Boyutlu baskıda dolgu biçiminin çekme dayanımına etkisi	336-348
Özbiç ÖZMEN Hasan Kemal SÜRMEİN Aziz SEZGİN	
26. Un Randıman Oranı ve Yoğurma Koşullarının Arap Ekmeğinin Özelliklerine Etkisi	349-359
Mustafa SATOUF Mehmet KÖTEN	
27. Yükseköğretimde Sondör Eğitimi	360-375
Hakan ELÇİ Zülfü DEMİRKIRAN	
28. Nano WC Kompozitlerde Fe-Ni Oranın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi	376-393
Esad KAYA Mustafa ULUTAN	
29. Artan Yük Altındaki Elastoplastik Taşıyıcı Çelik Çerçevelerde Ankastrelik Momentlerinin İncelenmesi	394-410
Harika Fatma AÇIKSARI Hatip TOK	
Derleme / Review	
30. NANOTEKNOLOJİNİN YENİLEBİLİR FİLMLERE UYGULANMASI	411-425
Kadriye ŞEN Kadir Gürbüz GÜNER	



UŞAK İLİ ÇEVRESİ İÇİN HİDROLOJİK KURAKLIK ANALİZİ

E. Dilek TAYLAN^{1*}, Fatih TOKER²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

AKİ,
Hidrolojik Kuraklık,
Uşak İli Çevresi.

Öz

İklim değişikliği sebebiyle oluşan kuraklık, zamanında incelenip gerekli önlemler alınmadığı takdirde büyük felaketlere yol açabilen doğal bir olaydır. Yağışların azlığı, meteorolojik kuraklığın oluşumunda rol almaktadır. Meteorolojik kuraklık zamanla yerini hidrolojik kuraklığa bırakabilir ve büyük sorunlar çıkarabilir. Hidrolojik kuraklığı incelemek için kullanılan indislerden biri Akım Kuraklık İndisi (AKİ) dir. Çalışmada Uşak İli çevresinde yedi farklı akım gözlem istasyonu kullanılarak bu bölgedeki hidrolojik kuraklık incelenmiştir. 1986-2015 yılları arasındaki ortalama aylık akım değerleri kullanılarak 3- aylık, 6- aylık ve 12- aylık periyotlarda kurak dönemler araştırılmıştır. Yedi farklı periyotta yapılan incelemeler sonucunda, beş periyotta nemli yıl sayısının daha fazla, iki tanesinde ise nemli yıl sayısı ile kurak yıl sayılarının birbirlerine eşit olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, veri aralığı iki eşit parçaya bölünerek nemli ve kurak sınıflarda artış ve azalmalar incelenmiştir. Görülme yüzdelerine bakıldığı zaman en çok orta nemli ve orta kurak sınıflar görülmüştür. AKİ-3 Ocak değerlerine göre 1991-1992 yıllarında şiddetli kuraklık görülürken; AKİ-6 Nisan değerlerine göre ise 2006-2007 yıllarında şiddetli kuraklık gözlemlenmiştir.

HYDROLOGICAL DROUGHT ANALYSIS FOR UŞAK PROVINCE SURROUNDING

Keywords

SDI,
Hydrological Drought,
Surrounding of Uşak.

Abstract

Drought caused by climate change is a natural event that can lead to major disasters if not investigated in a timely manner and necessary precautions are not taken. The scarcity of precipitation plays a role in the formation of meteorological drought. Meteorological drought can be replaced by hydrological drought over time and cause major problems. One of the indices used to examine hydrological drought is the Streamflow Drought Index (SDI). In the study, the hydrological drought in this region was investigated by using seven different flow gauging stations around Uşak Province. Dry periods were investigated in 3-month, 6-month and 12-month periods using the average monthly flow values between 1986 and 2015. As a result of the examinations made in seven different periods, it was observed that the number of wet years was higher in five periods, and the number of wet years and dry years were equal in two of them. It was observed that the number of wet years was higher in five of the seven different periods, and the number of wet years and dry years were equal in two of them. In addition, the data were divided into two equals parts and the increases and decreases in the wet and dry classes were examined. Considering the percentages of incidence, the most moderately wet and moderately dry classes were seen. According to SDI-3 January values, severe drought was observed in 1991-1992; According to SDI-6 April values, severe drought was observed in 2006-2007.

Alıntı / Cite

Taylan, E. D., Toker, F., (2023). Uşak İli Çevresi İçin Hidrolojik Kuraklık Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 1-21.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. D. Taylan, 0000-0003-0734-1900
F. Toker, 0000-0001-6079-5982

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	26.10.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	08.12.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	12.12.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: dilektaylan@sdu.edu.tr, +90-246-211-12-07

HYDROLOGICAL DROUGHT ANALYSIS FOR UŞAK PROVINCE SURROUNDING

E. Dilek TAYLAN^{1†}, Fatih TOKER²

¹ Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Isparta, Türkiye

² Suleyman Demirel University, Institute of Science, Department of Civil Engineering, Isparta, Türkiye

Highlights

- It is a study conducted for hydrological drought analysis for Uşak province surrounding.
- Based on the monthly average streamflow data from seven different gauging stations, the streamflow drought index method was used.
- The data set covers the years 1986-2015.

Purpose and Scope

The aim of this study is to analyze the hydrological drought Uşak province surrounding between the years 1986-2015.

Design/Methodology/Approach

Hydrological drought in the study area was investigated with the Streamflow Drought Index (SDI) method calculated using monthly flow data obtained from gauging stations. The obtained data were analyzed by creating various tables and figures. By making examinations for 3-, 6- and 12-month time periods, drought classes have been determined over the years, and it is possible to examine the hydrological drought of the study region in detail.

Findings

During the study, there were no extremely dry, extremely wet and severely wet periods in SDI-12, which was calculated for 12 months, where the total number of wet years was higher than the total number of dry years. All eight drought classes were encountered in SDI-3 and SDI-6. It was observed that the most recurrent drought classes in all time periods were abnormally dry and abnormally moist classes. Considering the wet years and dry years, it was seen that there was equality only in the SDI-3 April and SDI-6 April time periods.

Social Implications

In time, agricultural problems may arise due to agricultural drought that may occur due to hydrological drought in the study area. Various food shortages may occur due to agricultural drought, and consequences may arise from the migration of the population from this region. From another point of view, those affected by agricultural drought will not only be humans, but may also have negative effects on the living population. Some creatures may face extinction. This study will be able to give various preliminary information to public institutions in order to protect the water resources in the region and to prevent uncontrolled water consumption.

Originality

The fact that the hydrological drought analysis for Uşak province surrounding is a preliminary study for the agricultural and socioeconomic drought that may occur in the region expresses its original value.

[†] Corresponding author: dilektaylan@sdu.edu.tr, +90-246-211-12-07

1. Giriş (Introduction)

Kuraklık, Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi'nde (WMO), bir bölgede kaydedilen yağışların normal denilecek seviye değerlerinin çok fazla altına düşmesi sonucunda, hidrolojik dengenin bozulması, su kaynakları ve arazilerin kötü yönde etkilenmesine bağlı oluşmuş bir doğal olay olarak tanımlanmıştır (WMO, 1997). Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıklar en belirgin kuraklık tiplerini oluşturmaktadır. Hidrolojik kuraklık, uzun süre devam eden yağış eksikliği sonucunda ortaya çıkan akarsu, göl, rezervuar, yer altı sularındaki azalmayı ifade eder. Hidrolojik kuraklık uzun süre etkisini gösterebilir. (MGM, 2022). Kuraklığın izlenebilmesi için kullanılan kuraklık indisleri ile hangi sürelerde gerçekleştiği, şiddetleri ve bölgesel yayılmaları gibi bilgiler elde edilebilir. Meteorolojik ve hidrolojik kuraklığı belirlemek için çeşitli kuraklık indisleri bulunmaktadır. Meteorolojik kuraklığı izleme yöntemlerinden en yaygın ve yağış verisi kullanan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi'-SYİ (The Standardized Precipitation Index-SPI) (Mckee vd., 1993); neme bağlı sapmayı bulmak için Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PKŞİ) (Palmer, 1965); Keşif Kuraklık İndisi (KKİ) (Tsakiris vd., 2007); belirli zaman içerisindeki yağış değerlerini, bu yağışların ortalamasını ve standart sapmasını kullanan Z Skoru İndeksi (ZSİ) (Wu vd., 2001); yağış verilerinin Pearson tip III dağılımına uyduğunu kabul eden Çin Z İndisi (ÇZİ) (Morid vd., 2006); yağış değerlerinin en az 30 yıllık ortalama yağış değerine bölünüp 100 ile çarpılması ile hesaplanan Normal Yağış Yüzdesi İndeksi (NYYİ) (Willeke vd., 1994); yağışların normal değerinden sapmasının hesaplanması ile bulunan Yağış Anomali İndisi (YAİ) (Van Rooy, 1965); Türkiye'nin kurak ve nemli bölgelerinin yıl boyunca kurak sürelerini göstermek için kullanılan Erinç İndisi (Eİ)'dir (Erinç, 1957). Hidrolojik kuraklık izleme yöntemleri, yağış verileri ile birlikte kar birikimi, akış ve topografik değişiklikleri kullanan Yüzey Suyu İhtiyaç İndeksi (YSİİ) (Shafer ve Dezman, 1982); akım değerlerinden ortalama akım değeri arasındaki farkın standart sapmaya bölünmesiyle elde edilen Standartlaştırılmış Akış İndisi (SSFI) (Modarres, 2007); tek veri olarak aylık ortalama akım değerlerini kullanan Akım Kuraklık İndeksi-AKİ (The Streamflow Drought Index -SDI) (Nalbantis, 2008) sıklıkla kullanılan yöntemlerdir. AKİ yöntemiyle farklı çalışmalar da literatürde yer almaktadır (Özfidaner vd., 2018; Özcan vd., 2019; Katipoğlu vd., 2022; Turhan vd., 2022; Cornel 2017; Solaimani 2014; Jahangir 2020). Çalışmada, hidrolojik kuraklık analizinde sadece akarsu akımlarını kullandığı için uygulamasının basit olacağı ve gelecekte yapılacak olan çalışmalara yardımcı olacağı düşünülerek AKİ yöntemi tercih edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, Uşak İli ve çevresinde bulunan ve 1986-2015 yılları arasını kapsayan D07A010, D07A071, D07A075, E07A012, E05A014, E05A022 ve E05A024 numaralı akım gözlem istasyonlarından elde edilen aylık ortalama akım değerleri kullanılarak, AKİ yöntemi ile 3-, 6- ve 12- aylık periyotlarda hidrolojik kuraklık gözlenmesi amaçlanmıştır. AKİ yönteminin sınıflandırmasında en alt ve en üst sınıflandırma olan aşırı kurak ve aşırı nemli dönemlerle birlikte aradaki dönemlerde incelenmiş, sonuçlar AKİ değerleri grafikleri, kurak ve nemli yıl sayılarının grafikleri ile görülme yüzdeleri grafiği olarak verilip hidrolojik kuraklık analizi yapılmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

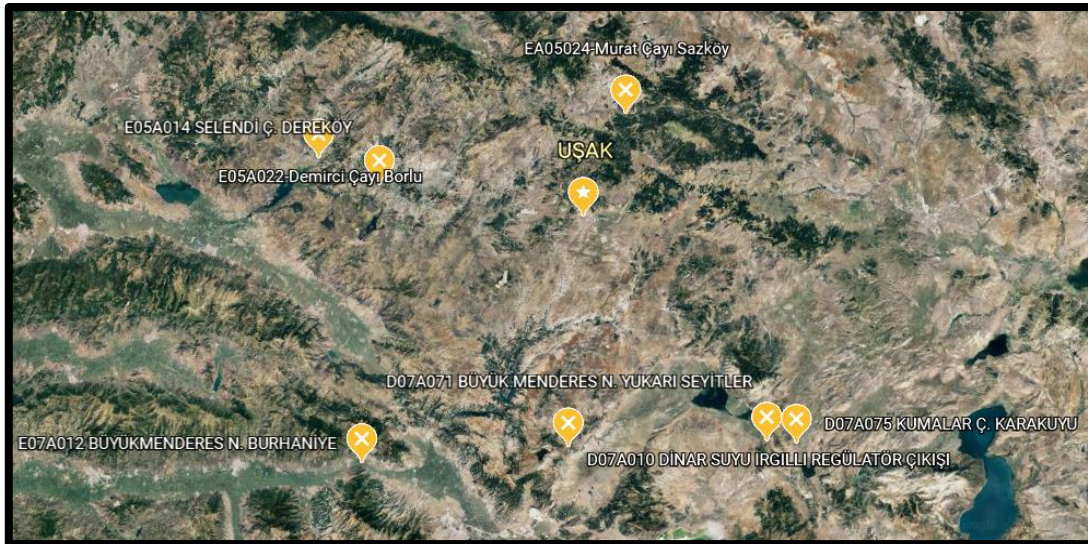
Son yıllarda kuraklık konusunda ülkemizde ve dünyada yapılan birçok çalışma mevcuttur (Şener ve Şener, 2019; Kale, 2021; Taş vd., 2020; Boudad vd., 2018). Gümüş (2017), çalışmasında Asi Havzası'nda dört farklı istasyonun akım verilerini kullanarak hidrolojik kuraklık analizi yapmıştır. Çalışma sonucunda özellikle 2000 yılı başlarının en kurak dönem olduğunu ve son yıllarda kuraklık sayılarının arttığını gözlemlemiştir. Gümüş vd. (2018), Fırat Havzası'nda bulunan Murat Nehri için hidrolojik kuraklık analizi yapmışlardır. 3-, 6- ve 12- aylık AKİ değerlerini kullanarak en yüksek ve en düşük kurak dönemleri saptamışlardır. Terzi ve Taylan (2019), Antalya Havzası'ndaki bir istasyonda yağış, sıcaklık, akım ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) verilerini kullanarak meteorolojik ve hidrolojik kuraklık analizi yapmışlardır. Kullanılan indislerin birbirleri ile uyumlu olduğunu bulmuşlardır. Kurnaz (2014), ülkemizde farklı dönemlerde yaşanan kuraklık olaylarında, en kurak ve etkisi fazla olan yılların 1971-1974, 1983-1984, 1989-1990, 1996, 2001 ve 2007-2008 tarihleri olduğunu belirtmiştir. Keskiner (2022), çalışmasında Şanlıurfa ilinde Aydeniz yöntemini kullanarak meteorolojik kuraklık riski altındaki alanları incelemiştir. Çalışma sonucunda Şanlıurfa ilindeki diğer çalışmalarda kullanılan kuraklık indis sonuçları ile benzerliğini görmüştür. Yüce vd. (2022), SYİ ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SYEİ) kuraklık indislerini kullanarak Samsun ilinde kuraklık analizleri yapmışlardır. Çalışma sonucunda Samsun ili için çok şiddetli kuraklık sınıfında SYİ yönteminin daha hassas olduğu sonucuna varmışlardır. Şener ve Davraz (2021), çalışmalarında SYİ, Yağış Anomali İndeksi (YAİ) ve Normal Yağış Yüzdesi İndisini (NYYİ) kullanarak Isparta ilinde meteorolojik kuraklık analizi yapmışlardır. Her üç kuraklık indisi içinde yakın bulgular saptamışlardır. Arslan (2021), çalışmasında Bolu ilinde yer alan iki akarsuyun akarsu akım değerlerini kullanarak 3-, 6- ve 12 aylık zaman periyotlarıyla hidrolojik kuraklığı AKİ ile incelemiştir. Çalışma alanında kuraklığın olumsuz bir artış gösterdiğini bulmuştur. Eroğlu ve Apaydın (2020), çalışmalarında AKİ yöntemi ve Yapay Sinir Ağları'nı (YSİ) kullanarak Ankara'nın Nallıhan ilçesinde 1996-2015 arasındaki verileri inceleyerek 2015-2030 yılları arasındaki akarsu değerlerini tahmin etmişlerdir. Çalışma alanında gelecek yıllar içerisinde aşırı kuraklığın olabileceğini bulmuşlardır. Gülmez vd. (2021), çalışmalarında Ege Bölgesi'nde akarsu akım

verilerini kullanarak AKİ yöntemiyle hidrolojik kuraklığı incelemişlerdir ve tüm zaman periyotlarında kuraklığın benzerlik gösterdiğini bulmuşlardır. Kumanlıoğlu (2020), AKİ yöntemini kullanarak 1-, 3-, 6-, ve 12- aylık zaman ölçeklerinde hidrolojik kuraklığı incelemiştir. Çalışma sonucunda Demirköprü Barajı havzasının kuraklıktan olumsuz etkilendiğini görmüştür. Özkaya ve Zerberg (2019), 1972- 2011 yılları arasında 47 farklı akım istasyonundaki akım değerlerini kullanarak AKİ yöntemi ile Yukarı Dicle Havzası'nda hidrolojik kuraklığı incelemişlerdir ve çalışma alanının 1990 yılından itibaren daha kurak olduğunu belirtmişlerdir. Boonrawd vd. (2022), çalışmalarında AKİ yöntemini kullanarak 3-, 6-, 9- ve 12- aylık periyotlarda hidrolojik kuraklığı incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda çalışma alanında ve tüm periyotlarda hafif kuraklığın hâkim olduğunu belirtmişlerdir. Yeh vd., (2015), Kuzey Tayvan'ın kuraklık analizini AKİ yöntemini ve Markov zincirlerini kullanarak incelemişlerdir ve 2002 yılının kuraklık şiddeti açısından önemli bir dönüm yılı olduğunu bulmuşlardır. Dehghani vd. (2020), çalışmalarında Dez Nehri Havzası'nda bulunan 20 akım gözlem istasyonundan yararlanarak AKİ yöntemi ile hidrolojik kuraklığı incelemişlerdir. Dez Nehri'nin kuraklık krizi içerisinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Adib vd. (2021), AKİ yöntemi kullanarak 1954-2016 dönemleri arasında 51 farklı akım gözlem istasyonu için Khuzestan Eyaleti'nin hidrolojik kuraklık analizini yapmışlardır. Gelecekte çalışma alanının aşırı kuraklık ve şiddetli kuraklığa maruz kalacağını bulmuşlardır. Manikandan ve Tamilmanni (2015), çalışmalarında AKİ yöntemini kullanarak Parambikulam-Aliyar Havzası'ndaki hidrolojik kuraklığı incelemişlerdir. Çalışma alanının 1972-1974, 1982-1985, 1987-1988 ve 2002-2004 dönemlerinde şiddetli kuraklık içerisinde olduğunu belirtmişlerdir. Tabari vd. (2012), çalışmalarında İran'ın kuzeybatısındaki Batı Azerbaycan Eyaleti'ndeki 14 farklı istasyonun akım verilerini kullanarak hidrolojik kuraklık analizi yapmışlardır. Aşırı kuraklığın 1997-1998 ile 2008-2009 arasındaki 12 yılda olduğunu ve bu yıllar içindeki 1998-1999, 1999-2000 ve 2000-2001 hidrolojik yıllarının en kurak dönem olduğunu bulmuşlardır. Meddi vd. (2013), çalışmalarında Cezayir'in kuzeybatısındaki Tafna Havzası'nda iki farklı istasyonun akım verilerini kullanarak hidrolojik kuraklığı incelemişlerdir. Ele alınan dönem içerisinde ve özellikle 1975 sonrasında her iki istasyon için kuraklığın arttığını ve aşırı kuraklıkların ise 1975 yılından sonra daha sık yaşandığını sonucuna varmışlardır. Mhamd vd. (2022), çalışmalarında Birleşik Arap Emirliği'nde SYI ve KKI yöntemlerini kullanarak meteorolojik kuraklık incelemesi yapmışlardır. SYI ve KKI arasındaki korelasyonun çok yüksek olduğunu ve KKI değerlerinin SYI değerlerine göre daha sert düşüş yaşadığını saptamışlardır. Edossa vd. (2009), çalışmalarında Etiyopya'nın Awash Nehri Havzası'nda meteorolojik ve hidrolojik kuraklığı incelemişlerdir. Meteorolojik kuraklığa göre orta ve aşağı su havza alanlarında hafif ve hafif üstü kuraklıkların daha fazla görüldüğü bulunurken hidrolojik kuraklık olaylarının en sık aşağı su havzasında meydana geldiğini belirtmişlerdir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Çalışma alanı olarak seçilen Uşak ili, Türkiye'nin Ege Bölgesinde yer almaktadır. Uşak ili coğrafi açıdan 38° 13'-38° 56' enlemleri ile 28° 48'- 29° 57' boylamları arasında yer alır. Uşak ilinin kuzeyinde Kütahya, güneyinde Denizli, doğusunda Afyonkarahisar ve batısında Manisa illeri bulunmaktadır. Yüzölçümü ise 5.341 km² dir. Ülke yüzölçümünün % 0,7 sini oluşturmaktadır, çalışma alanı Şekil 1'de coğrafi konum olarak verilmiştir (Uşak Belediyesi, 2022).



Şekil 1. Çalışma Alanı ve AKİ İstasyonlarının Google Earth Üzerindeki Coğrafi Konumu (Geolocation of Study Area and SDI Stations on Google Earth)

Tablo 1' de kullanılan AGİ istasyonlarının numaraları, isimleri, ortalama, en büyük ve en küçük akım (m^3/sn) değerleri, standart sapmaları (m^3/sn) ve izlenen zaman aralığı verilmiştir. En yüksek ortalama akım E07A012 numaralı istasyonda görülürken, en düşük ortalama akım ise D07A075 numaralı istasyonda görülmüştür.

Tablo 1. İstasyonlar Hakkında Bilgiler (Information About Stations)

AGİ no.	İstasyon ismi	Ort. akım (m^3/sn)	En büyük akım (m^3/sn)	En küçük akım (m^3/sn)	Standart sapma (m^3/sn)	Zaman aralığı
D07A010	Irgıllı Regülatör Çıkışı	1,696 m^3/sn	4,91 m^3/sn	0,00 m^3/sn	1,219 m^3/sn	1986-2015
D07A071	Yukarı Seyitler	6,907 m^3/sn	39,90 m^3/sn	0,00 m^3/sn	6,749 m^3/sn	1986-2015
D07A075	Karakuyu	0,195 m^3/sn	1,727 m^3/sn	0,00 m^3/sn	0,330 m^3/sn	1986-2015
E07A012	Burhaniye	21,482 m^3/sn	55,40 m^3/sn	0,88 m^3/sn	10,754 m^3/sn	1986-2015
E05A014	Dereköy	1,699 m^3/sn	17,40 m^3/sn	0,00 m^3/sn	2,700 m^3/sn	1986-2015
E05A022	Borlu	2,527 m^3/sn	31,00 m^3/sn	0,00 m^3/sn	4,487 m^3/sn	1986-2015
E05A024	Sazköy	1,559 m^3/sn	17,20 m^3/sn	0,00 m^3/sn	1,953 m^3/sn	1986-2015

3.2 Yöntem (Method)

3.2.1. Akım Kuraklık İndisi (AKİ) (Streamflow Drought Index-SDI)

Hidrolojik kuraklığın saptanmasında kullanılan AKİ, aylık ortalama akarsu akımları ($Q_{i,j}$) ile hesaplanmaktadır. Nalbantis (2008) tarafından geliştirilen bu indis hidrolojik olarak kurak dönemlerin incelenmesine olanak sağlar. AKİ hesaplamasında kullanılan kümülatif akarsu akımı $V_{i,k}$ (m^3/sn), denklem (1)' den elde edilir:

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad j = 1, 2, 3, \dots, 12 \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

Burada N, hidrolojik toplam yıl sayısını; $V_{i,k}$ herhangi bir k referans periyodu için kümülatif akarsu akımını; i, herhangi bir hidrolojik yılı; j, herhangi bir hidrolojik yılın bir ayını göstermektedir. Referans periyodu dört farklı değer için dört ayrı dönemi gösterir. Referans periyodu k=1 olduğu zaman ekim-aralık ayları arasındaki dönem, k=2 olduğu zaman ocak-mart ayları arasındaki dönem, k=3 olduğu zaman nisan-haziran ayları arasındaki dönem ve son olarak k=4 olduğu zaman temmuz-eylül ayları arasındaki dönem ifade edilmektedir. AKİ, denklem (2)' den elde edilir (Nalbantis 2008):

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

Denklem (2)'deki \bar{V}_k , referans periyodu için kümülatif akarsu akım ortalamasını ve S_k ise standart sapmasını ifade etmektedir. AKİ değerleri kurak sınıf olarak dört adet, nemli sınıf olarak dört adet olmak üzere aşırı kurak ve aşırı nemli arasında sekiz ayrı sınıf olarak Tablo 2' de gösterilmiştir (Hong vd. 2015).

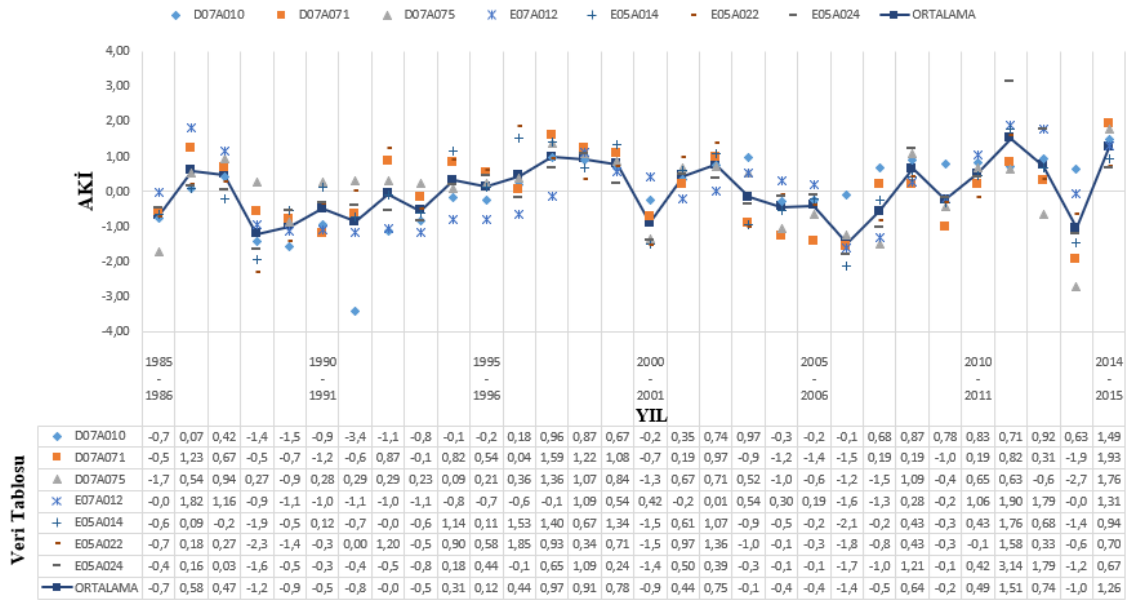
Tablo 2. AKİ Değerlerinin Sınıflandırması (Classification of SDI Values) (Hong vd. 2015)

SINIFLANDIRMA	AKİ DEĞERİ
Aşırı Kurak (AK)	$AKI \leq -2$
Şiddetli Kurak (ŞK)	$-2 < AKI \leq -1,5$
Orta Kurak (OK)	$-1,5 < AKI \leq -1$
Hafif Kurak (OK)	$-1 < AKI \leq 0$
Hafif Nemli (HN)	$0 < AKI \leq 1$
Orta Nemli (ON)	$1 < AKI \leq 1,5$
Şiddetli Nemli (ŞN)	$1,5 < AKI \leq 2$
Aşırı Nemli (AŞ)	$AKI > 2$

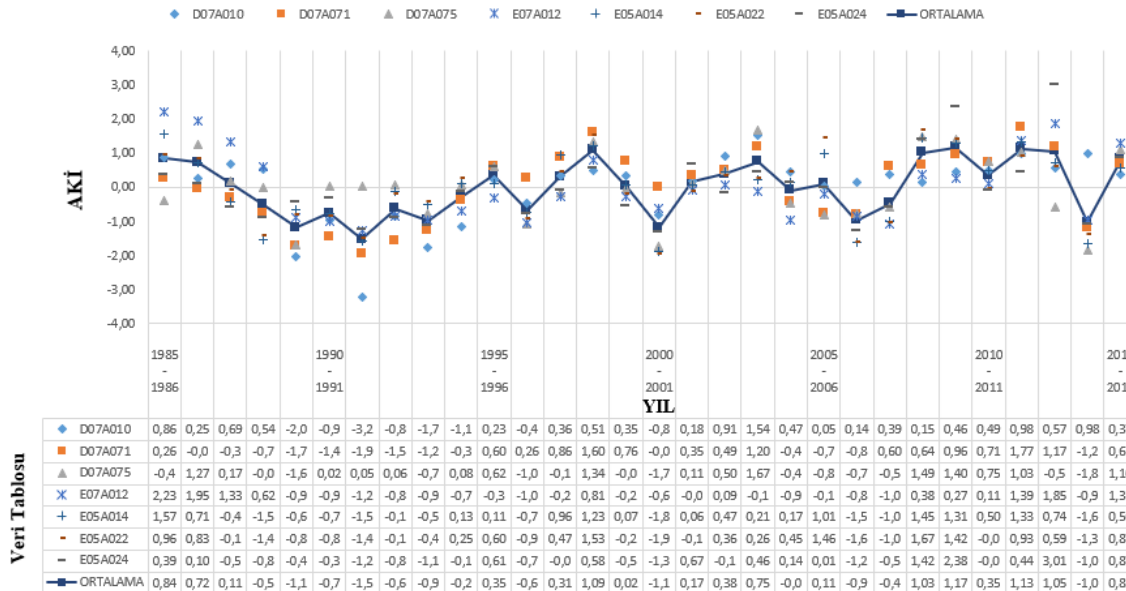
4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

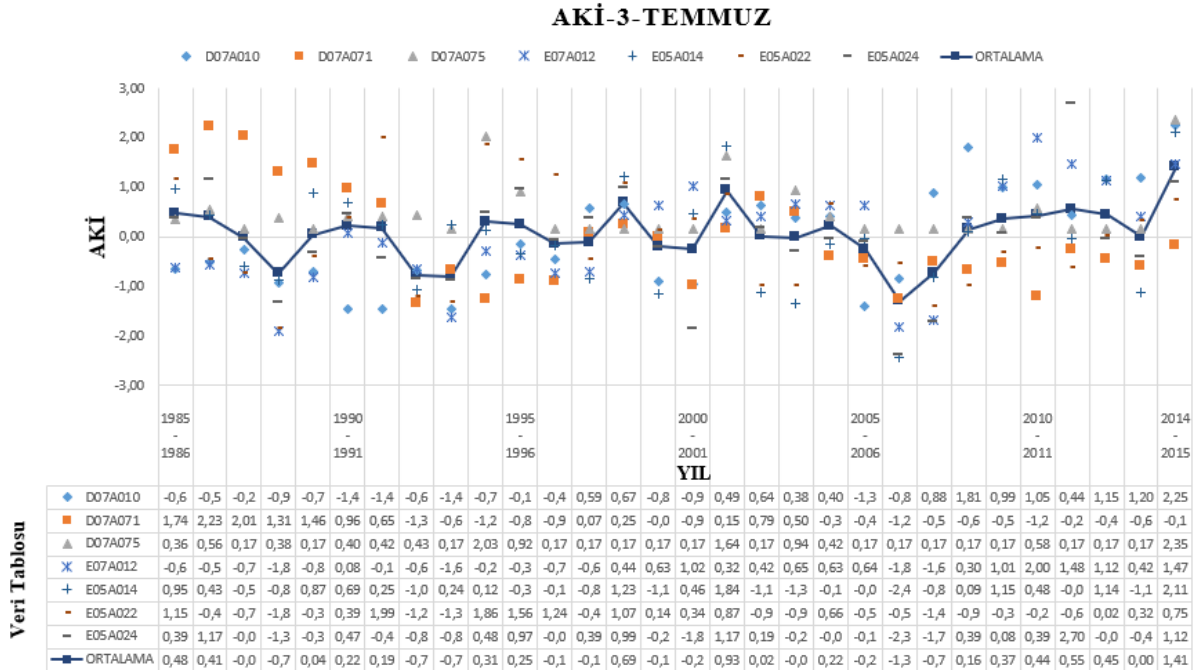
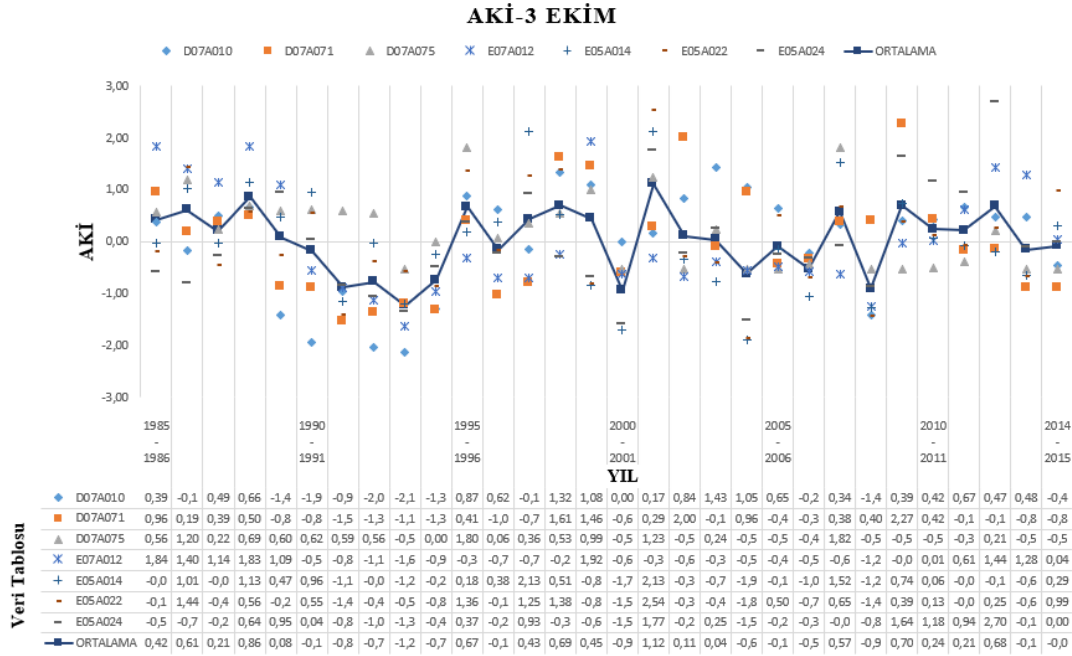
Uşak ili ve çevresinde bulunan akım gözlem istasyonlarına ait veriler ile hidrolojik kuraklığın süreleri ve şiddetlerini belirleyebilmek için 3-, 6- ve 12- aylık periyotlarda AKİ değerleri hesaplanmıştır. 3-, 6- ve 12- aylık periyotların çoğunda aşırı kurak ve aşırı nemli sınıf bulgularına rastlanmasına rağmen genel bir değerlendirmeye tabii tutulup yedi istasyonun AKİ değerlerinin ortalaması kullanılmıştır. Şekil 2' de 3- aylık, Şekil 3'te 6- aylık ve Şekil 4'te 12- aylık periyotlar için her istasyonun AKİ değerleri ile yedi istasyonun ortalama AKİ değeri verilmiştir. Ortalama AKİ 3-Ekim değerlerine bakıldığı zaman 1993-1994, 2000-2001 ve 2008-2009 su yıllarında orta kurak dönem meydana geldiği gözlenirken 2001-2002 su yılında ise orta nemli olduğu gözlenmiştir. Ortalama AKİ-3 Ocak değerlerinde ise 1991-1992 su yılında şiddetli kurak dönem meydana gelmiş, 1998-1999, 2008-2009, 2009-2010, 2011-2012 ve 2012-2013 su yıllarında orta nemli olduğu gözlenmiştir. Ortalama AKİ 3-Nisan için 1988-1989, 2006-2007 ve 2013-2014 su yıllarında orta kurak dönem, 2011-2012 su yılında ise şiddetli nemli dönem görülmüştür. Ayrıca bu dönemde istasyonların AKİ değerlerinin ortalama AKİ değerine yakın olduğu belirlenmiştir. Bu durumda nemli dönemlerde ortaya çıkan akım değerlerinin yıllara göre genel olarak değişmediği tespit edilmiştir. Ortalama AKİ-3 Temmuz değerlerine bakıldığı zaman 2006-2007 su yılında orta kurak dönem meydana geldiği, 2014-2015 su yılında ise orta nemli olduğu gözlenmiştir (Şekil 2).

AKİ-3 NİSAN



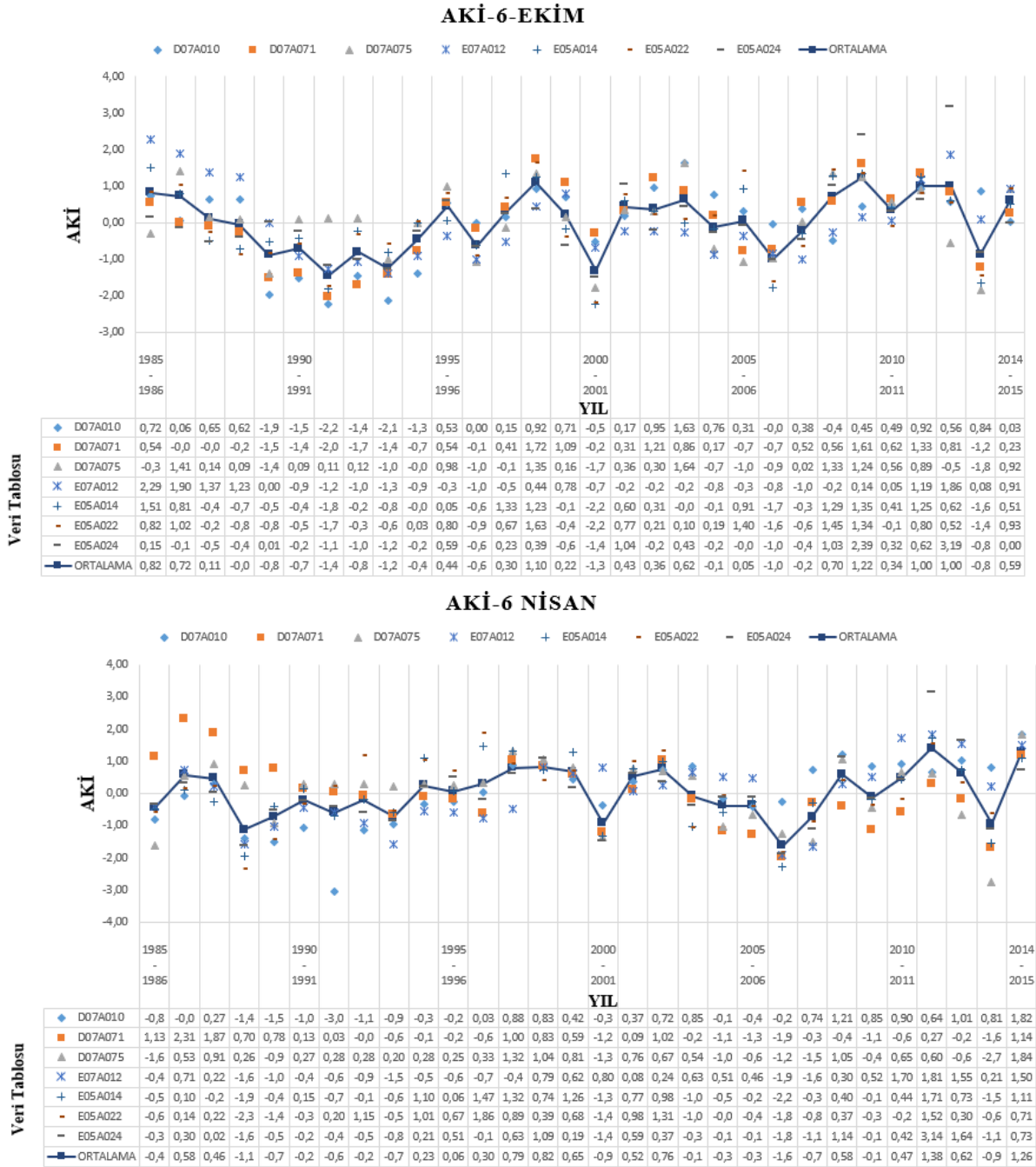
AKİ-3 OCAK





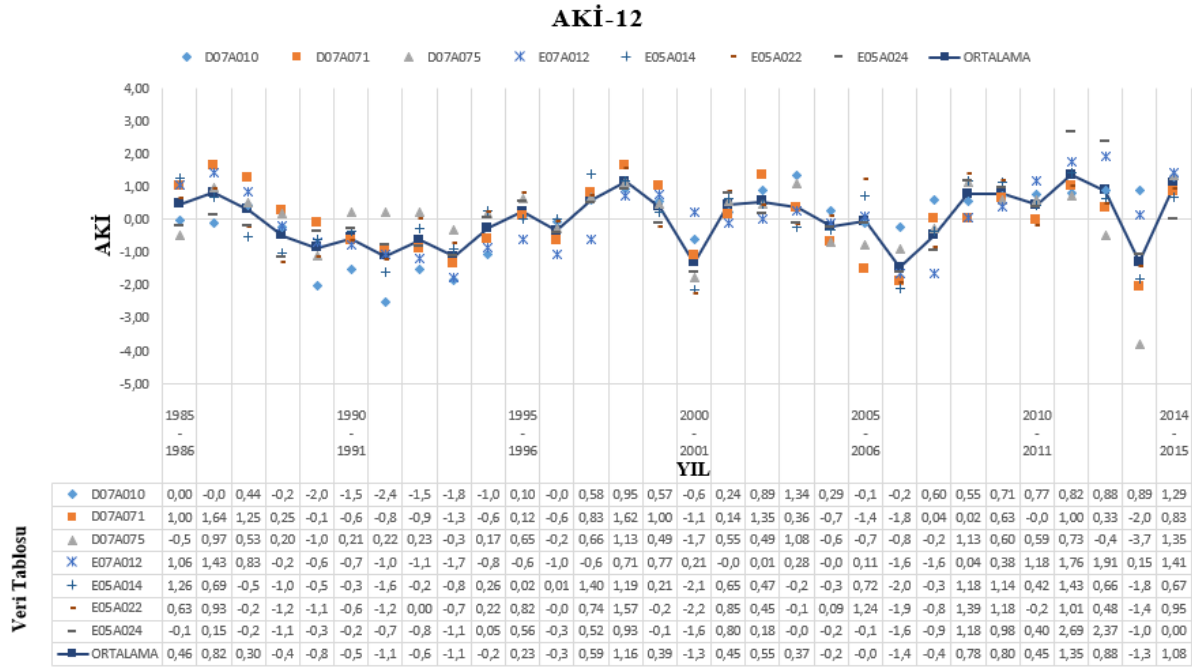
Şekil 2. İstasyonların ve Ortalama AKİ-3 Değerlerinin Zamansal Değişimi (Temporal Variation of the Average SDI-3 Values of the Stations)

Ortalama AKİ 6-Ekim değerlerine göre 1991-1992, 1993-1994, 2000-2001 ve 2006-2007 su yıllarında orta kurak dönem, 1998-1999 ve 2009-2010 su yıllarında ise orta nemli dönem görülmüştür. 2011-2012 ve 2014-2015 su yıllarında ortalama AKİ 6-Nisan değerleri için orta nemli dönem, 2006-2007 su yılında ise şiddetli kurak dönem olduğu belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. İstasyonların ve Ortalama AKİ-6 Değerlerinin Zamansal Değişimi (Temporal Variation of the Average SDI-6 Values of the Stations)

12- aylık hidrolojik kuraklığın izlendiği ortalama AKİ-12 değerlerine göre, 1991-1992, 1993-1994, 2001-2001, 2006-2007 ve 2013-2014 su yıllarında orta kurak dönem, 1998-1999, 2011-2012 ve 2014-2015 su yıllarında ise orta nemli dönem oluşmuştur. Aşırı kurak, aşırı nemli ve şiddetli nemli dönemlere rastlanmamıştır (Şekil 4).

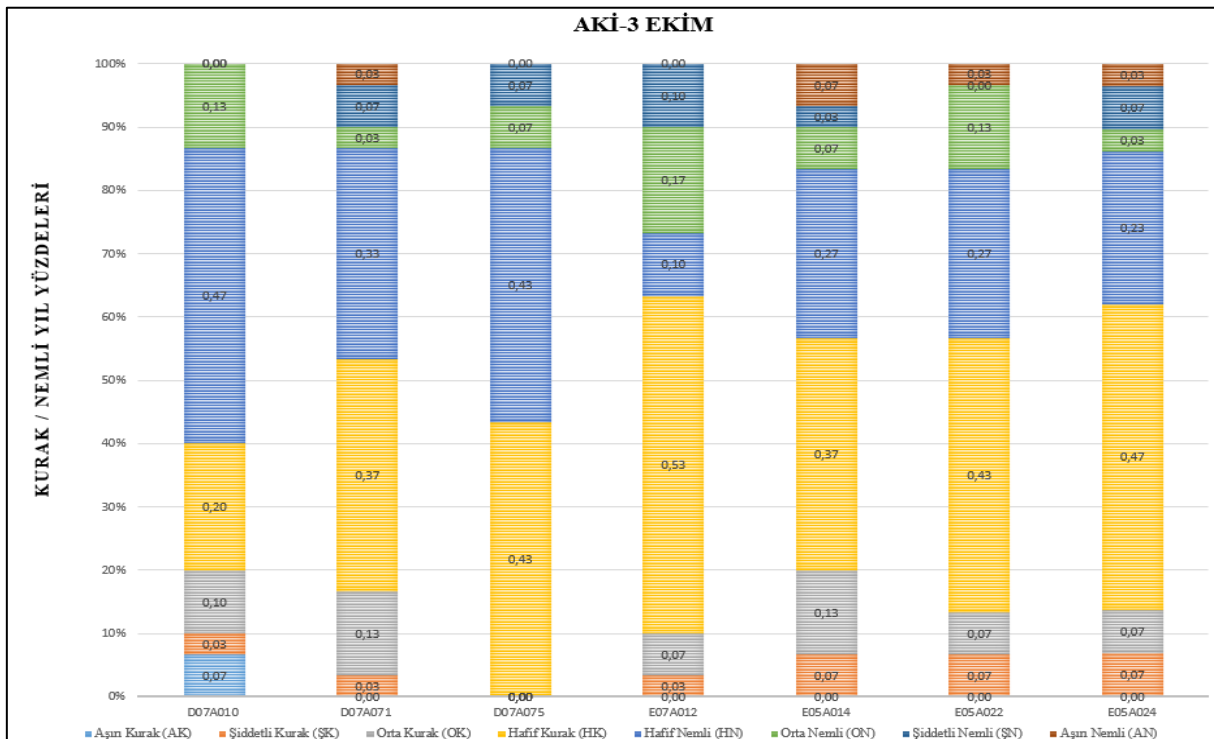


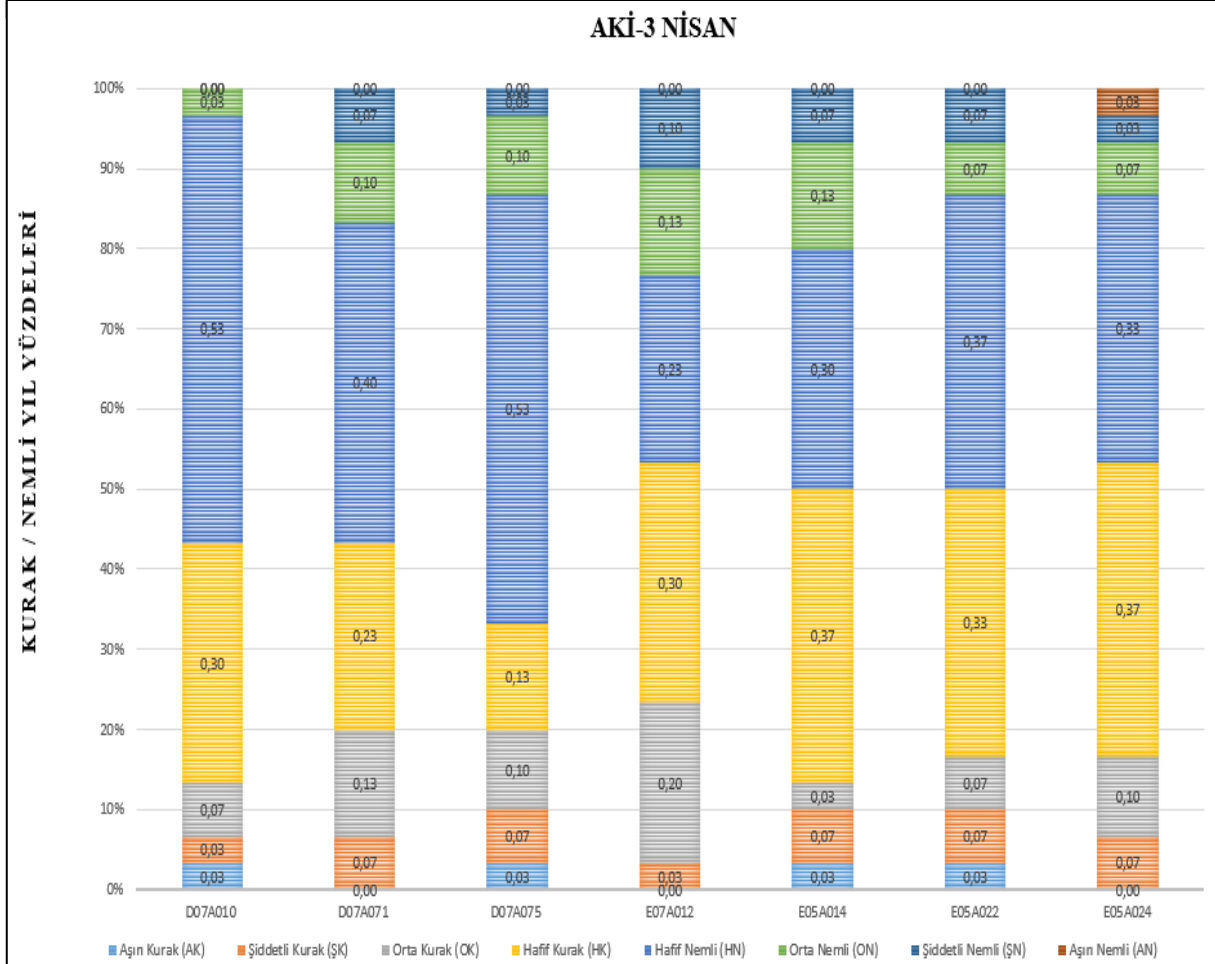
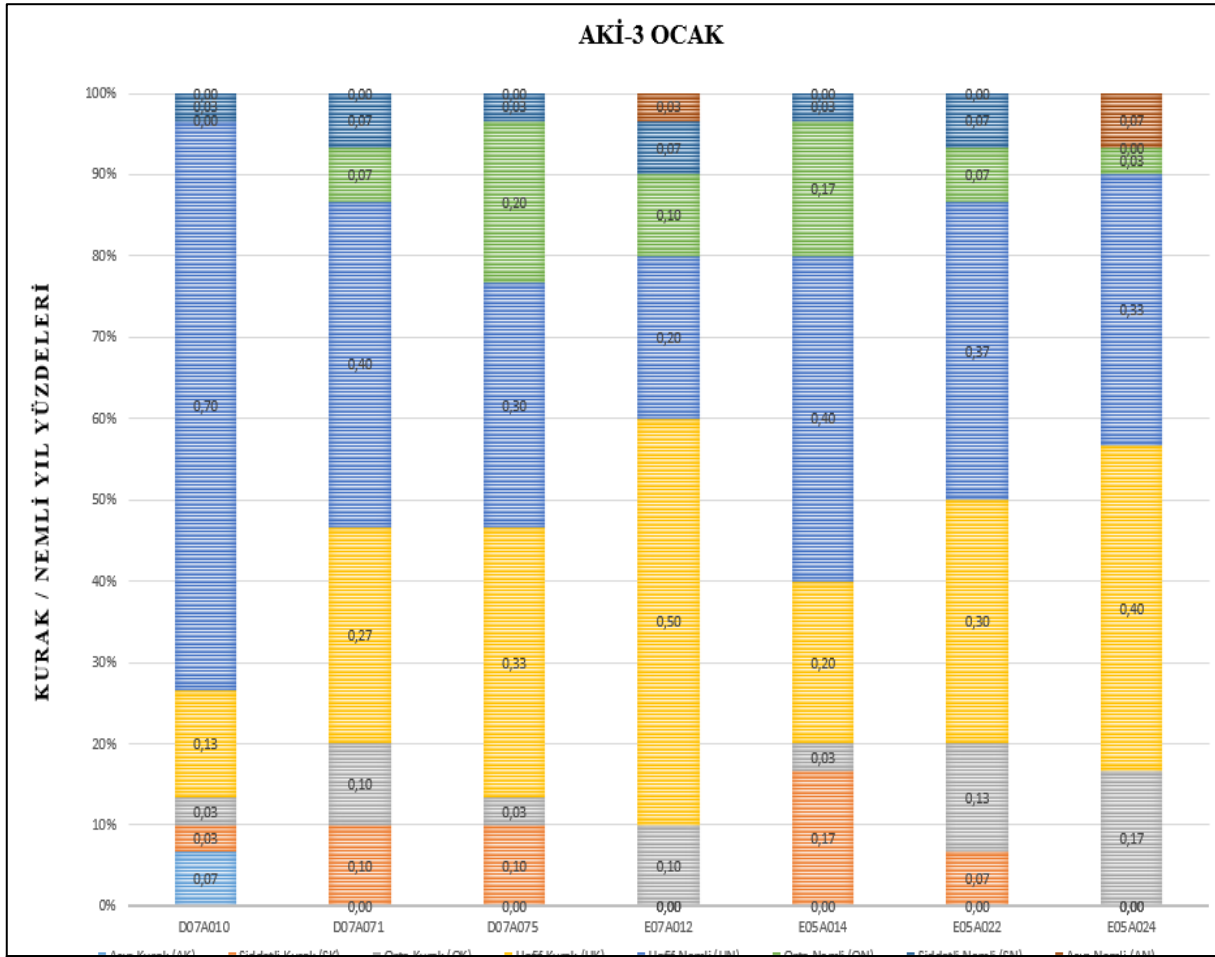
Şekil 4. İstasyonların ve Ortalama AKİ12 Değerlerinin Zamansal Değişimi (Temporal Variation of the Average SDI-12 Values of the Stations)

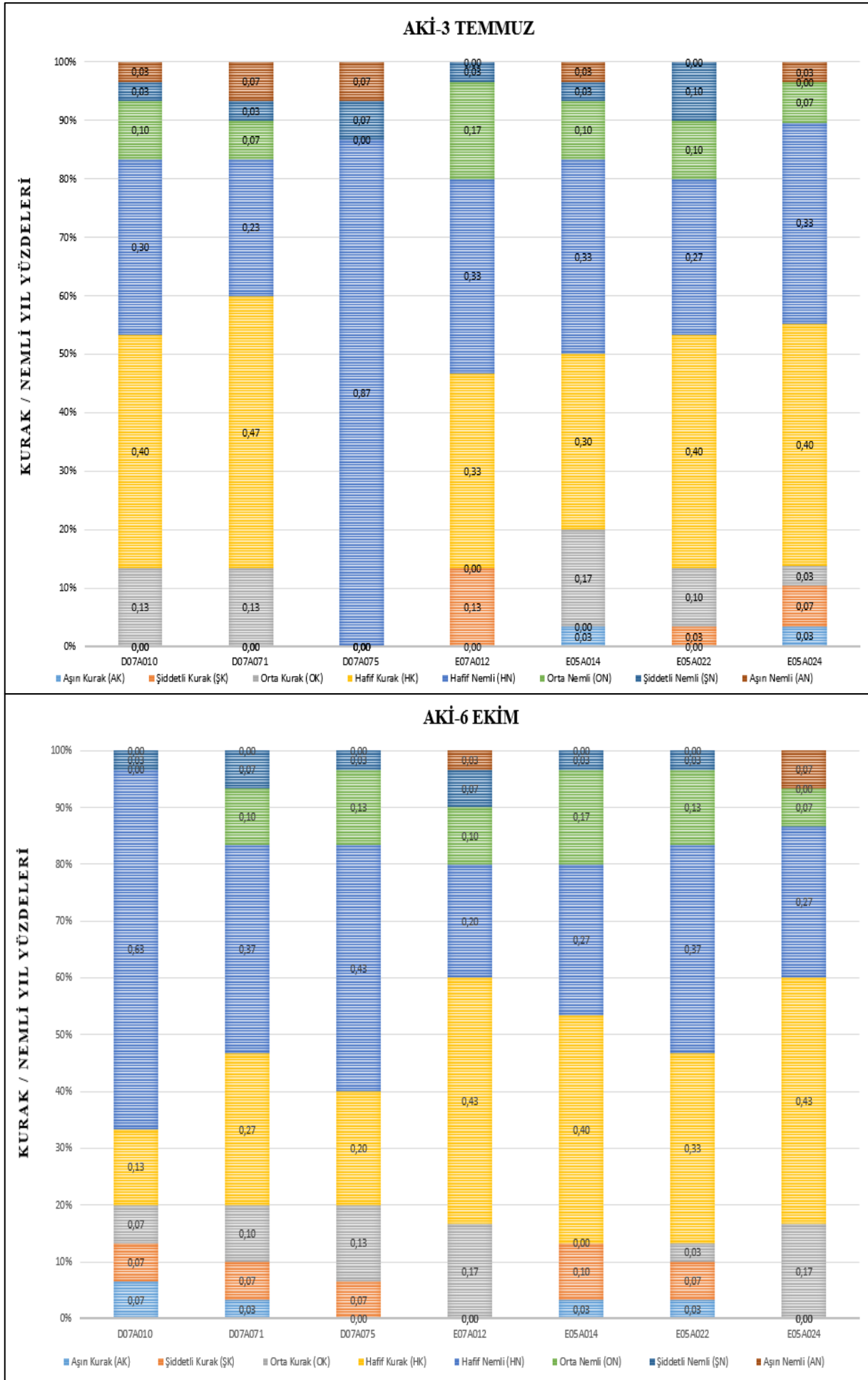
Tablo 3'te kurak ve nemli yıl sayıları verilmiştir. Tablo 3'e göre, 1986-2015 yılları arasında kurak yıl sayısı ile nemli yıl sayılarının AKİ-3 Nisan ve AKİ-6 Nisan dönemlerinde eşit olduğu gözlenmiştir. AKİ-3 Ekim, AKİ-3 Ocak, AKİ-3 Temmuz ve AKİ-6 Ekim dönemlerinde ise kurak yıl sayısının nemli yıl sayısından dörder yıl az olduğu görülürken, AKİ-12 döneminde ise kurak yıl sayısı nemli yıl sayısından iki yıl az bulunmuştur. Uşak ili çevresinde ele alınan istasyonların tüm zaman ölçeklerindeki kurak / nemli yıl sayılarının yüzdesel dağılımları Şekil 5'te verilmiştir.

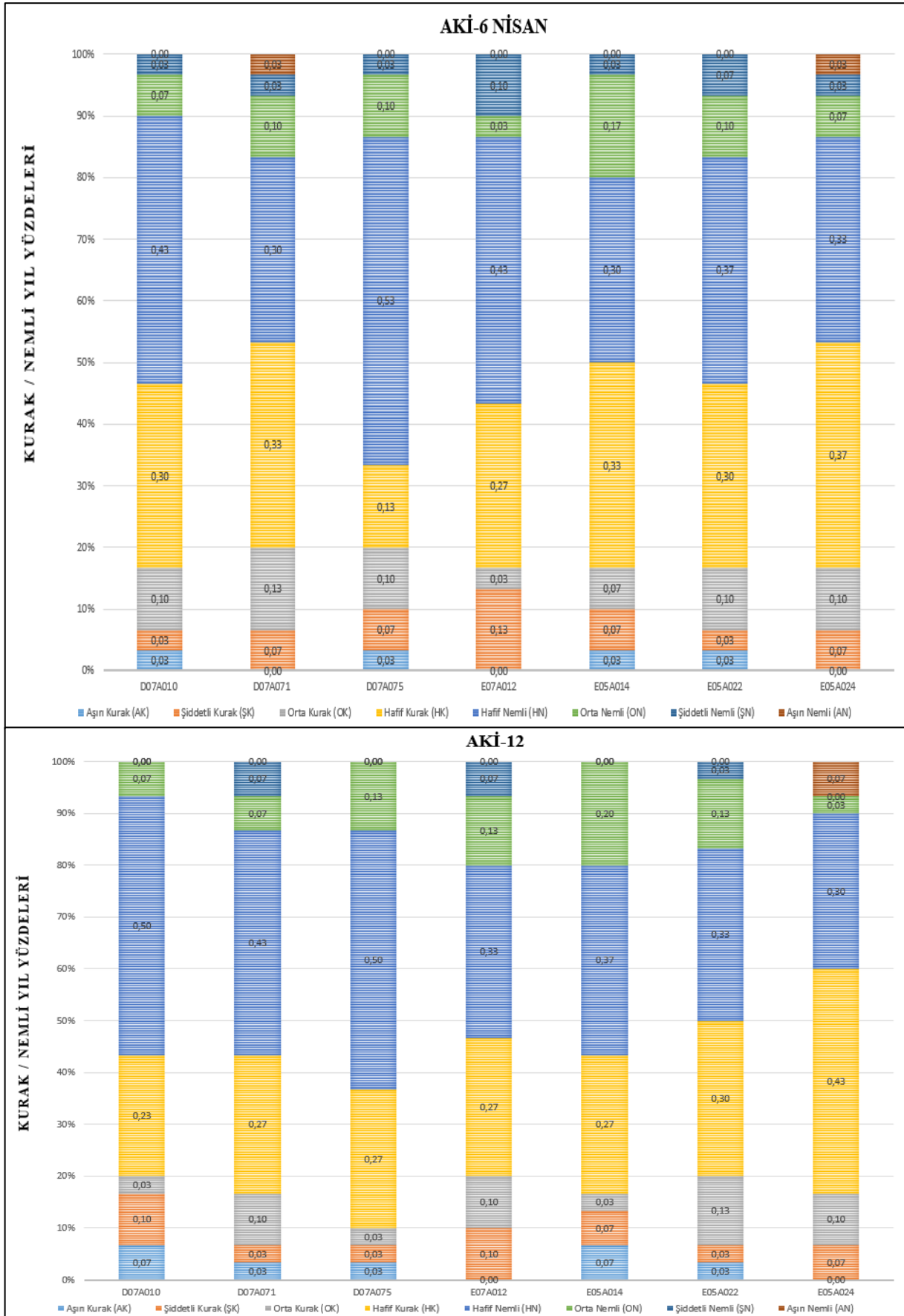
Tablo 3. Hesaplanan Kurak ve Nemli Yıl Sayıları (Calculated Number of Dry and Wet Years)

	AKİ-3 EKİM	AKİ-3 OCAK	AKİ-3 NİSAN	AKİ-3 TEMMUZ	AKİ-6 EKİM	AKİ-6 NİSAN	AKİ-12
1986-2015 Kurak Yıl Sayısı	13	13	15	13	13	15	14
1986-2015 Nemli Yıl Sayısı	17	17	15	17	17	15	16









Şekil 5. İstasyonların Kurak / Nemli Yıl Sayılarının Yüzdese Olarak AKİ Değerlerine Göre Dağılımları (Distribution of the Number of Dry / Wet Years of the Study Stations by Percentage of SDI Values)

Şekil 5'e göre, AKİ-3 Ekim değerleri için en çok rastlanan kuraklık sınıfları %53 oran ile E07A012 numaralı istasyonda hafif kuraklıktır. AKİ-3 Ocak değerleri için en çok görülen kuraklık sınıfları %70 oran ile D07A010

numaralı istasyonda görülen hafif nemliliklerdir. AKİ-3 Nisan değerlerine göre en çok karşılaşılan kuraklık sınıfları %53 oran ile D07A010 ve D07A075 numaralı istasyonlarda görülen hafif nemliliklerdir. AKİ-3 Temmuz değerlerine göre en çok görülen kuraklık sınıfları %47 oran ile D07A071 numaralı istasyonda görülen hafif kuraklık ve %87 oran ile D07A075 numaralı istasyonda görülen hafif nemlilik olmuştur. AKİ-6 Ekim değerlerine göre en çok görülen kuraklık sınıfları %63 oran ile D07A010 numaralı istasyonda görülen hafif nemliliklerdir. AKİ-6 Nisan değerlerine göre en çok görülen kuraklık sınıfları %53 oran ile D07A075 numaralı istasyonda görülen hafif nemliliklerdir. Yıllık hesaplanan AKİ-12 değerlerine göre en çok görülen kuraklık sınıfları %50 oran ile D07A075 ve D07A010 numaralı istasyonlarda görülen hafif nemlilik olmuştur. Tüm istasyonlarda hafif kuraklık ve hafif nemlilik en çok görülen kuraklık sınıflarıdır.

Bölgedeki nemli ve kurak süreçlerin zaman içerisindeki değişimini gözleyebilmek için 1986-2015 yılları aralığı iki zaman dilimine ayrılmıştır. İlk zaman dilimi 1986-2000 yıllarını kapsarken ikinci zaman dilimi 2001-2015 yılları aralığıdır. Her iki zaman diliminde kuraklık kategorilerinin görülme yüzdeleri Tablo 4-10'da gösterilmiştir.

Tablo 4. AKİ-3 Ekim Görülme Yüzdeleri (SDI-3 October Occurrence Percentages)

1986-2000 Yılları Arası								
		D07A010	D07A071	D07A075	E07A012	E05A014	E05A022	E05A024
AKİ-3 Ekim	Aşırı Kurak $AKİ \leq -2$	13,30%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Şiddetli Kurak $-2 < AKİ \leq -1.5$	6,70%	6,70%	0,00%	6,70%	0,00%	0,00%	0,00%
	Orta Kurak $-1.5 < AKİ \leq -1$	13,30%	26,70%	0,00%	6,70%	13,30%	6,70%	13,30%
	Hafif Kurak $-1 < AKİ \leq 0$	20%	20%	13,30%	46,70%	33,30%	53,30%	53,30%
	Hafif Nemli $0 < AKİ \leq 1$	33,40%	33,30%	73,30%	0,00%	33,30%	13,30%	33,30%
	Orta Nemli $1 < AKİ \leq 1.5$	13,30%	6,70%	6,70%	20,00%	13,30%	26,70%	0,00%
	Şiddetli Nemli $1.5 < AKİ \leq 2$	0,00%	6,70%	6,70%	20,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Aşırı Nemli $AKİ > 2$	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	6,70%	0,00%	0,00%
2001-2015 Yılları Arası								
		D07A010	D07A071	D07A075	E07A012	E05A014	E05A022	E05A024
AKİ-3 Ekim	Aşırı Kurak $AKİ \leq -2$	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Şiddetli Kurak $-2 < AKİ \leq -1.5$	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	13,30%	13,30%	13,30%
	Orta Kurak $-1.5 < AKİ \leq -1$	6,70%	0,00%	0,00%	6,70%	13,30%	6,70%	0,00%
	Hafif Kurak $-1 < AKİ \leq 0$	20,00%	53,30%	73,30%	60,00%	40,00%	33,30%	40,00%
	Hafif Nemli $0 < AKİ \leq 1$	60,00%	33,30%	13,30%	20,00%	20,00%	40,00%	13,30%
	Orta Nemli $1 < AKİ \leq 1.5$	13,30%	0,00%	6,70%	13,30%	0,00%	0,00%	6,70%
	Şiddetli Nemli $1.5 < AKİ \leq 2$	0,00%	0,00%	6,70%	0,00%	6,70%	0,00%	13,30%
	Aşırı Nemli $AKİ > 2$	0,00%	13,30%	0,00%	0,00%	6,70%	6,70%	0,00%

Tablo 4' te verilen AKİ-3 Ekim görülme yüzdelerindeki değerler için, aşırı kurak sınıfta herhangi bir olumsuz artış olmamıştır. Şiddetli kurak sınıfta, E05A014, E05A022 ve E05A024 numaralı istasyonlarda % 13,30 oranında bir artış görülmüştür. Orta kurak sınıfta herhangi bir olumsuz artış meydana gelmezken hafif kurak sınıfta, D07A075 numaralı istasyonda % 60 oranında, D07A071 numaralı istasyonda % 33,30 oranında bir artış gerçekleşmiştir. Hafif nemli sınıfta, D07A075 numaralı istasyonda % 60 oranında bir düşüş meydana gelmiştir. Orta nemli sınıfta, E05A022 numaralı istasyonda % 26,70 oranında ve E05014 numaralı istasyonda % 13,30 oranında bir düşüş yaşanmıştır. Şiddetli nemli sınıfta, E07A012 numaralı istasyonda % 20 oranında bir düşüş bulunmuştur. Aşırı nemli sınıfta herhangi bir olumsuz düşüş meydana gelmemiştir.

Tablo 5. AKİ-3 Ocak Görülme Yüzdeleri (SDI-3 January Occurrence Percentages)

1986-2000 Yılları Arası								
		D07A010	D07A071	D07A075	E07A012	E05A014	E05A022	E05A024
AKİ-3 Ocak	Aşırı Kurak $AKİ \leq -2$	13,30%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Şiddetli Kurak $-2 < AKİ \leq -1.5$	6,70%	20,00%	6,70%	0,00%	13,30%	0,00%	0,00%
	Orta Kurak $-1.5 < AKİ \leq -1$	6,70%	13,30%	6,70%	13,30%	0,00%	13,30%	13,30%
	Hafif Kurak $-1 < AKİ \leq 0$	20,00%	26,70%	33,30%	53,30%	40,00%	46,70%	60,00%
	Hafif Nemli $0 < AKİ \leq 1$	53,30%	33,30%	40,00%	13,30%	33,30%	33,30%	26,70%
	Orta Nemli $1 < AKİ \leq 1.5$	0,00%	0,00%	13,30%	6,70%	6,70%	0,00%	0,00%
	Şiddetli Nemli $1.5 < AKİ \leq 2$	0,00%	6,70%	0,00%	6,70%	6,70%	6,70%	0,00%
	Aşırı Nemli $AKİ > 2$	0,00%	0,00%	0,00%	6,70%	0,00%	0,00%	0,00%
2001-2015 Yılları Arası								
		D07A010	D07A071	D07A075	E07A012	E05A014	E05A022	E05A024
AKİ-3 Ocak	Aşırı Kurak $AKİ \leq -2$	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Şiddetli Kurak $-2 < AKİ \leq -1.5$	0,00%	0,00%	13,30%	0,00%	20,00%	13,30%	0,00%
	Orta Kurak $-1.5 < AKİ \leq -1$	0,00%	6,70%	0,00%	6,70%	6,70%	13,30%	20,00%
	Hafif Kurak $-1 < AKİ \leq 0$	6,70%	26,70%	33,30%	46,70%	0,00%	13,30%	20,00%
	Hafif Nemli $0 < AKİ \leq 1$	86,70%	46,70%	20,00%	26,70%	46,70%	40,00%	40,00%
	Orta Nemli $1 < AKİ \leq 1.5$	0,00%	13,30%	26,70%	13,30%	26,70%	13,30%	6,70%
	Şiddetli Nemli $1.5 < AKİ \leq 2$	6,70%	6,70%	6,70%	6,70%	0,00%	6,70%	0,00%
	Aşırı Nemli $AKİ > 2$	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	13,30%

Tablo 5 incelendiğinde, AKİ-3 Ocak görülme yüzdelerindeki değerler için, aşırı kurak sınıfta, tüm istasyonlarda herhangi bir olumsuz artışa rastlanılmamıştır. Şiddetli kurak sınıfta, E05A022 numaralı istasyonda % 13,30 oranında bir artış gerçekleşmiştir. Orta kurak sınıfta E05A014 ve E05A024 numaralı istasyonlarda % 6,70 oranında bir artış görülmüştür. Hafif kurak sınıfta tüm istasyonlarda herhangi bir olumsuz artış meydana gelmemiştir. Hafif nemli sınıfta, D07A075 numaralı istasyonda % 20 oranında bir düşüşe rastlanılmıştır. Orta nemli sınıfta, D07A071 ve D07A075 numaralı istasyonlarda % 13,30 oranında bir azalma görülmüştür. Şiddetli nemli sınıfta E05A014 numaralı istasyonda % 6,70 oranında bir düşüş olmuştur. Aşırı nemli sınıfta, E07A012 numaralı istasyonda % 6,70 oranında bir azalma gerçekleşmiştir.

Tablo 6. AKİ-3 Nisan Görülme Yüzdeleri (SDI-3 April Occurrence Percentages)

1986-2000 Yılları Arası								
		D07A010	D07A071	D07A075	E07A012	E05A014	E05A022	E05A024
AKİ-3 Nisan	Aşırı Kurak $AKİ \leq -2$	6,70%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	6,70%	0,00%
	Şiddetli Kurak $-2 < AKİ \leq -1.5$	6,70%	0,00%	6,70%	0,00%	6,70%	0,00%	6,70%
	Orta Kurak $-1.5 < AKİ \leq -1$	13,30%	6,70%	0,00%	33,30%	0,00%	6,70%	0,00%
	Hafif Kurak $-1 < AKİ \leq 0$	33,30%	33,30%	6,70%	40,00%	40,00%	26,70%	46,70%
	Hafif Nemli $0 < AKİ \leq 1$	40,00%	33,30%	73,30%	6,70%	26,70%	46,70%	40,00%
	Orta Nemli $1 < AKİ \leq 1.5$	0,00%	20,00%	13,30%	13,30%	20,00%	6,70%	6,70%
	Şiddetli Nemli $1.5 < AKİ \leq 2$	0,00%	6,70%	0,00%	6,70%	6,70%	6,70%	0,00%
	Aşırı Nemli $AKİ > 2$	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tablo 6 (Devamı)

2001-2015 Yılları Arası								
		D07A010	D07A071	D07A075	E07A012	E05A014	E05A022	E05A024
AKİ-3 Nisan	Aşırı Kurak $AKİ \leq -2$	0,00%	0,00%	6,70%	0,00%	6,70%	0,00%	0,00%
	Şiddetli Kurak $-2 < AKİ \leq -1.5$	0,00%	13,30%	6,70%	6,70%	6,70%	13,30%	6,70%
	Orta Kurak $-1.5 < AKİ \leq -1$	0,00%	20,00%	20,00%	6,70%	6,70%	6,70%	20,00%
	Hafif Kurak $-1 < AKİ \leq 0$	26,70%	13,30%	20,00%	20,00%	33,30%	40,00%	26,70%
	Hafif Nemli $0 < AKİ \leq 1$	66,70%	46,70%	33,30%	40,00%	33,30%	26,70%	26,70%
	Orta Nemli $1 < AKİ \leq 1.5$	6,70%	0,00%	6,70%	13,30%	6,70%	6,70%	6,70%
	Şiddetli Nemli $1.5 < AKİ \leq 2$	0,00%	6,70%	6,70%	13,30%	6,70%	6,70%	6,70%
	Aşırı Nemli $AKİ > 2$	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	6,70%

Tablo 6'ya bakıldığında, AKİ-3 Nisan görülme yüzdelerindeki değerler için, aşırı kurak sınıfta, D07A075 ve E05A014 numaralı istasyonlarda % 6,70 oranında artış gerçekleşmiştir. Şiddetli kurak sınıfta, D07A071 ve E05A022 numaralı istasyonlarda % 13,3 oranında bir artış olmuştur. Orta kurak sınıfta, D07A075 ve E05A024 numaralı istasyonlarda % 20 oranında ve D07A071 numaralı istasyonda % 13,30 oranında bir artış görülmüştür. Hafif kurak sınıfta, D07A075 ve E05A022 numaralı istasyonlarda % 13,30 oranında bir artış meydana gelmiştir. Hafif nemli sınıfta, D07A075 numaralı istasyonda % 40 oranında bir düşüşe rastlanılmıştır. Orta nemli sınıfta, D07A071 numaralı istasyonda % 20 oranında bir azalma olmuştur.

Tablo 7. AKİ-3 Temmuz Görülme Yüzdeleri (SDI-3 July Occurrence Percentages)

1986-2000 Yılları Arası								
		D07A010	D07A071	D07A075	E07A012	E05A014	E05A022	E05A024
AKİ-3 Temmuz	Aşırı Kurak $AKİ \leq -2$	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Şiddetli Kurak $-2 < AKİ \leq -1.5$	0,00%	0,00%	0,00%	13,30%	0,00%	6,70%	20,00%
	Orta Kurak $-1.5 < AKİ \leq -1$	20,00%	13,30%	0,00%	0,00%	13,30%	13,30%	0,00%
	Hafif Kurak $-1 < AKİ \leq 0$	66,70%	26,70%	0,00%	66,70%	33,30%	26,70%	33,30%
	Hafif Nemli $0 < AKİ \leq 1$	13,30%	26,70%	93,30%	20,00%	46,70%	13,30%	46,70%
	Orta Nemli $1 < AKİ \leq 1.5$	0,00%	13,30%	0,00%	0,00%	6,70%	20,00%	0,00%
	Şiddetli Nemli $1.5 < AKİ \leq 2$	0,00%	6,70%	0,00%	0,00%	0,00%	20,00%	0,00%
	Aşırı Nemli $AKİ > 2$	0,00%	13,30%	6,70%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tablo 7 (Devamı)

2001-2015 Yılları Arası								
		D07A010	D07A071	D07A075	E07A012	E05A014	E05A022	E05A024
AKİ-3 Temmuz	Aşırı Kurak $AKİ \leq -2$	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	6,70%	0,00%	6,70%
	Şiddetli Kurak $-2 < AKİ \leq -1.5$	0,00%	0,00%	0,00%	13,30%	0,00%	0,00%	13,30%
	Orta Kurak $-1.5 < AKİ \leq -1$	6,70%	13,30%	0,00%	0,00%	20,00%	6,70%	0,00%
	Hafif Kurak $-1 < AKİ \leq 0$	13,30%	66,70%	0,00%	0,00%	26,70%	53,30%	33,30%
	Hafif Nemli $0 < AKİ \leq 1$	46,70%	20,00%	86,70%	46,70%	20,00%	40,00%	26,70%
	Orta Nemli $1 < AKİ \leq 1.5$	20,00%	0,00%	0,00%	33,30%	13,30%	0,00%	13,30%
	Şiddetli Nemli $1.5 < AKİ \leq 2$	6,70%	0,00%	6,70%	0,00%	6,70%	0,00%	0,00%
	Aşırı Nemli $AKİ > 2$	6,70%	0,00%	6,70%	6,70%	6,70%	0,00%	6,70%

Tablo 7' de AKİ-3 Temmuz görülme yüzdelerindeki değerler için, aşırı kurak sınıfında, E05A014 ve E05A024 numaralı istasyonlarda % 6,70 oranında bir artış meydana gelmiştir. Orta kurak sınıfında, E05A014 numaralı istasyonda % 6,70 oranında bir artış gerçekleşmiştir. Hafif kurak sınıfında, D07A071 numaralı istasyonda % 40 oranında ve E05A022 numaralı istasyonda % 26,70 oranında artışlar görülmüştür. Hafif nemli sınıfında, E05A014 ve E05A024 numaralı istasyonlarda % 26,70 oranında, bir düşüşe rastlanılmıştır. Orta nemli sınıfında, E05A022 numaralı istasyonda % 20 oranında bir düşüş olmuştur. Şiddetli nemli sınıfında, E05A022 numaralı istasyonda % 20 oranında bir düşüşle karşılaşılmıştır. Aşırı nemli sınıfında D07A071 numaralı istasyonda % 13,30 oranında bir düşüş meydana gelmiştir.

Tablo 8. AKİ-6 Ekim Görülme Yüzdeleri (SDI-6 October Occurrence Percentages)

1986-2000 Yılları Arası								
		D07A010	D07A071	D07A075	E07A012	E05A014	E05A022	E05A024
AKİ-6 Ekim	Aşırı Kurak $AKİ \leq -2$	13,30%	6,70%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Şiddetli Kurak $-2 < AKİ \leq -1.5$	13,30%	13,30%	0,00%	0,00%	6,70%	6,70%	0,00%
	Orta Kurak $-1.5 < AKİ \leq -1$	13,30%	13,30%	20,00%	26,70%	0,00%	0,00%	20,00%
	Hafif Kurak $-1 < AKİ \leq 0$	6,70%	33,30%	20,00%	33,30%	60,00%	53,30%	46,70%
	Hafif Nemli $0 < AKİ \leq 1$	53,40%	20,00%	46,70%	13,30%	13,30%	26,70%	33,30%
	Orta Nemli $1 < AKİ \leq 1.5$	0,00%	6,70%	13,30%	13,30%	13,30%	6,70%	0,00%
	Şiddetli Nemli $1.5 < AKİ \leq 2$	0,00%	6,70%	0,00%	6,70%	6,70%	6,70%	0,00%
	Aşırı Nemli $AKİ > 2$	0,00%	0,00%	0,00%	6,70%	0,00%	0,00%	0,00%

Tablo 8 (Devamı)

2001-2015 Yılları Arası								
		D07A010	D07A071	D07A075	E07A012	E05A014	E05A022	E05A024
AKİ-6 Ekim	Aşırı Kurak $AKİ \leq -2$	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	6,70%	6,70%	0,00%
	Şiddetli Kurak $-2 < AKİ \leq -1.5$	0,00%	0,00%	13,30%	0,00%	13,30%	6,70%	0,00%
	Orta Kurak $-1.5 < AKİ \leq -1$	0,00%	6,70%	6,70%	6,70%	0,00%	6,70%	13,30%
	Hafif Kurak $-1 < AKİ \leq 0$	20,00%	20,00%	20,00%	53,30%	20,00%	13,30%	33,30%
	Hafif Nemli $0 < AKİ \leq 1$	73,30%	53,30%	40,00%	26,70%	40,00%	46,70%	20,00%
	Orta Nemli $1 < AKİ \leq 1.5$	0,00%	13,30%	13,30%	6,70%	20,00%	20,00%	13,30%
	Şiddetli Nemli $1.5 < AKİ \leq 2$	6,70%	6,70%	6,70%	6,70%	0,00%	0,00%	0,00%
	Aşırı Nemli $AKİ > 2$	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	13,30%

Tablo 8' deki AKİ-6 Ekim görülme yüzdelerindeki değerler için, aşırı kurak sınıfta, E05A014 ve E05A022 numaralı istasyonlarda % 6,70 oranında bir artış görülmüştür. Şiddetli kurak sınıfta, D07A075 numaralı istasyonda % 13,30 oranında bir artışa rastlanılmıştır. Orta kurak sınıfta, E05A022 numaralı istasyonda % 6,70 oranında bir artış meydana gelmiştir. Hafif kurak sınıfta, E07A012 numaralı istasyonda % 20 oranında artış olmuştur. Hafif nemli sınıfta, E05A024 numaralı istasyonda % 13,30 oranında düşüş gerçekleşmiştir. Orta nemli sınıfta, E07A012 numaralı istasyonda % 6,70 oranında bir azalma olmuştur. Şiddetli nemli sınıfta, E05A014 ve E05A022 numaralı istasyonlarda % 6,70 oranında bir düşüş gözlenmiştir. Aşırı nemli sınıfta, E07A012 numaralı istasyonda % 6,70 oranında bir düşüş olmuştur.

Tablo 9. AKİ-6 Nisan Görülme Yüzdeleri (SDI-6 April Occurrence Percentages)

1986-2000 Yılları Arası								
		D07A010	D07A071	D07A075	E07A012	E05A014	E05A022	E05A024
AKİ-6 Nisan	Aşırı Kurak $AKİ \leq -2$	6,70%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	6,70%	0,00%
	Şiddetli Kurak $-2 < AKİ \leq -1.5$	6,70%	0,00%	6,70%	13,30%	6,70%	0,00%	6,70%
	Orta Kurak $-1.5 < AKİ \leq -1$	20,00%	0,00%	0,00%	6,70%	0,00%	6,70%	0,00%
	Hafif Kurak $-1 < AKİ \leq 0$	33,30%	33,30%	6,70%	53,30%	40,00%	20,00%	46,70%
	Hafif Nemli $0 < AKİ \leq 1$	33,30%	46,70%	73,30%	26,70%	26,70%	46,70%	40,00%
	Orta Nemli $1 < AKİ \leq 1.5$	0,00%	6,70%	13,30%	0,00%	26,70%	13,30%	6,70%
	Şiddetli Nemli $1.5 < AKİ \leq 2$	0,00%	6,70%	0,00%	0,00%	0,00%	6,70%	0,00%
	Aşırı Nemli $AKİ > 2$	0,00%	6,70%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tablo 9 (Devamı)

2001-2015 Yılları Arası								
		D07A010	D07A071	D07A075	E07A012	E05A014	E05A022	E05A024
AKİ-6 Nisan	Aşırı Kurak $AKİ \leq -2$	0,00%	0,00%	6,70%	0,00%	6,70%	0,00%	0,00%
	Şiddetli Kurak $-2 < AKİ \leq -1.5$	0,00%	13,30%	6,70%	13,30%	6,70%	6,70%	6,70%
	Orta Kurak $-1.5 < AKİ \leq -1$	0,00%	26,70%	20,00%	0,00%	13,30%	13,30%	20,00%
	Hafif Kurak $-1 < AKİ \leq 0$	26,70%	33,30%	20,00%	0,00%	26,70%	40,00%	26,70%
	Hafif Nemli $0 < AKİ \leq 1$	53,30%	13,30%	33,30%	60,00%	33,30%	26,70%	26,70%
	Orta Nemli $1 < AKİ \leq 1.5$	13,30%	13,30%	6,70%	6,70%	6,70%	6,70%	6,70%
	Şiddetli Nemli $1.5 < AKİ \leq 2$	6,70%	0,00%	6,70%	20,00%	6,70%	6,70%	6,70%
	Aşırı Nemli $AKİ > 2$	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	6,70%

Tablo 9' daki AKİ-6 Nisan görülme yüzdelerindeki değerler için, aşırı kurak sınıfta, D07A075 ve E05A014 numaralı istasyonlarda % 6,70 oranında bir artış olmuştur. Şiddetli kurak sınıfta, D07A071 numaralı istasyonda % 13,30 oranında artış görülmüştür. Orta kurak sınıfta, D07A071 numaralı istasyonda % 26,70 oranında, D07A075 ve E05A024 numaralı istasyonlarda % 20 oranında artışlar gerçekleşmiştir. Hafif kurak sınıfta, E05A022 numaralı istasyonda % 20 oranında bir artışa rastlanılmıştır. Hafif nemli sınıfta, D07A075 numaralı istasyonda % 40 oranında ve D07A071 numaralı istasyonda % 33,30 oranında düşüşler meydana gelmiştir. Orta nemli sınıfta, E05A014 numaralı istasyonda % 20 oranında azalma olmuştur. Şiddetli nemli sınıfta D07A071 numaralı istasyonda % 6,70 oranında bir düşüş görülmüştür. Aşırı nemli sınıfta D07A071 numaralı istasyonda % 6,70 oranında bir azalma görülmüştür.

Tablo 10. AKİ-12 Görülme Yüzdeleri (SDI-12 Occurrence Percentages)

1986-2000 Yılları Arası								
		D07A010	D07A071	D07A075	E07A012	E05A014	E05A022	E05A024
AKİ-12	Aşırı Kurak $AKİ \leq -2$	13,30%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Şiddetli Kurak $-2 < AKİ \leq -1.5$	20,00%	0,00%	0,00%	6,70%	6,70%	0,00%	0,00%
	Orta Kurak $-1.5 < AKİ \leq -1$	6,70%	6,70%	6,70%	20,00%	6,70%	20,00%	13,30%
	Hafif Kurak $-1 < AKİ \leq 0$	26,70%	40,00%	20,00%	40,00%	33,30%	40,00%	53,30%
	Hafif Nemli $0 < AKİ \leq 1$	33,30%	33,30%	66,70%	20,00%	33,30%	33,30%	33,30%
	Orta Nemli $1 < AKİ \leq 1.5$	0,00%	6,70%	6,70%	13,30%	20,00%	0,00%	0,00%
	Şiddetli Nemli $1.5 < AKİ \leq 2$	0,00%	13,30%	0,00%	0,00%	0,00%	6,70%	0,00%
	Aşırı Nemli $AKİ > 2$	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tablo 10 (Devamı)

2001-2015 Yılları Arası								
		D07A010	D07A071	D07A075	E07A012	E05A014	E05A022	E05A024
AKİ-12	Aşırı Kurak $AKİ \leq -2$	0,00%	6,70%	6,70%	0,00%	13,30%	6,70%	0,00%
	Şiddetli Kurak $-2 < AKİ \leq -1.5$	0,00%	6,70%	6,70%	13,30%	6,70%	6,70%	13,30%
	Orta Kurak $-1.5 < AKİ \leq -1$	0,00%	13,30%	0,00%	0,00%	0,00%	6,70%	6,70%
	Hafif Kurak $-1 < AKİ \leq 0$	20,00%	13,30%	33,30%	13,30%	20,00%	20,00%	26,70%
	Hafif Nemli $0 < AKİ \leq 1$	66,70%	53,30%	33,30%	46,70%	40,00%	33,30%	26,70%
	Orta Nemli $1 < AKİ \leq 1.5$	13,30%	6,70%	20,00%	13,30%	20,00%	26,70%	6,70%
	Şiddetli Nemli $1.5 < AKİ \leq 2$	0,00%	0,00%	0,00%	13,30%	0,00%	0,00%	0,00%
	Aşırı Nemli $AKİ > 2$	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	13,30%

Tablo 10' da AKİ-12 değerleri için, aşırı kurak sınıfta, E05A014 numaralı istasyonda % 13,30 oranında bir artış meydana gelmiştir. Şiddetli kuraklık sınıfında, E05A024 numaralı istasyonda % 13,30 oranında artış olmuştur. Orta kurak sınıfında, D07A071 numaralı istasyonda % 6,70 oranında bir artış görülmüştür. Hafif kurak sınıfında, D07A075 numaralı istasyonda % 13,30 oranında artış gerçekleşmiştir. Hafif nemli sınıfında, D07A075 numaralı istasyonda % 33,30 oranında bir azalmaya rastlanılmıştır. Şiddetli nemli sınıfında, D07A071 numaralı istasyonda % 13,30 oranında düşüş meydana gelmiştir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Kuraklık zamana bağlı olarak gelişen doğal bir olaydır. Yağış eksikliğine bağlı ortaya çıkan meteorolojik kuraklığın devamında yüzeysel sular üzerinde etkileri olan hidrolojik kuraklık ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, Uşak ili çevresindeki akım gözlem istasyonlarının 1986-2015 yıllarını kapsayan aylık ortalama akarsu akımları kullanılarak hidrolojik kuraklığın belirlenmesinde AKİ yöntemi uygulanmıştır. Çalışma bölgesinde 3-, 6- ve 12- aylık periyotlarda AKİ incelenmiş olup kuraklığın hangi dönemlerde hangi sınıf türünde olduğu saptanmıştır.

- En sık rastlanılan kuraklık sınıfları, hafif nemli ve hafif kurak sınıflarıdır.
- Toplam nemli yıl sayıları toplam kurak yıl sayılarından daha fazladır.
- D07A075 numaralı istasyonda, iki periyot olarak incelenen görülme yüzdelerinde 2001-2015 yılları arasındaki kurak sınıfların görülme yüzdelerinin, 1986-2000 yılları arasındaki kurak sınıfların görülme yüzdelerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- D07A071 ve D07A075 numaralı istasyonlarda, iki periyot olarak incelenen görülme yüzdelerinde 2001-2015 yılları arasındaki nemli sınıfların görülme yüzdelerinin, 1986-2000 yılları arasındaki nemli sınıfların görülme yüzdelerinden daha az olduğu belirlenmiştir.
- 1986-2000 yılları arasında D07A010 numaralı istasyonda aşırı kuraklık sınıfı diğer istasyonlara göre daha çok görülmüştür.

Elde edilen verilerden yola çıkarak genel tabloda nemlilik sınıflarının arttığı görülmesine rağmen bazı istasyonlarda kurak sınıflar artmaktadır. İlerleyen yıllar içerisinde bölgedeki yağışların ve buna bağlı akarsu akımlarının düzenli olarak kontrol edilerek kuraklığı minimuma indirebilecek eylem planlarının oluşturulup tartışılması gerekmektedir. Bu çalışmanın ilerleyen zamanlarda bölgede yapılacak olan hidrolojik kuraklık çalışmalarına yardımcı olacağı düşünülmektedir.

6. Çıkar çatışması (Conflict of interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

7. Kaynaklar (References)

- Adib, A., Kashani, A., & Ashrafi, S. M., 2021. Merge L-Moment Method, Regional Frequency Analysis and SDI for Monitoring and Zoning Map of Short-Term and Long-Term Hydrologic Droughts in the Khuzestan Province of Iran. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 45(4), 2681-2694.
- Arslan, O., 2021. Hydrological Drought Analysis for Bolu City with Streamflow Drought Index. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 5 (2), 115-123.
- Boonrawd, Kowit & Supakosol, Jirawat & Prasanchum, Haris., 2022. Hydrological Drought Evaluation on Streamflow Drought Index (SDI) in Upstream and Downstream Area of Lampao Reservoir, Northeast of Thailand. *Proceedings of the 5th International Conference on Water Resources (ICWR)*, 1, 63-72.
- Boudad, B. & Sahbi, H. & Manssouri, Imad., 2018. Analysis of Meteorological and Hydrological Drought Based in SPI and SDI Index in the Inaouen Basin (Northern Morocco). *Journal of Materials and Environmental Science*.9. 219-227.
- Cornel, S. N., & Ioan, I. C. (2017). Aspects of the Hydrological Drought Evaluation in the Galbena Valley With Streamflow Srought Index (SDI). *Ann. Univ. Oradea Fascicle Environ. Prot. An*, 29, 239-250.
- Dehghani, Tahmine & Ahmadpari, Hedieh & Aghelmirrezaei, Fatemeh & Godarzi, Ahmad, 2020. Analysis of Hydrological Drought Using Streamflow Drought Index (Case Study: Dez River Basin, Iran).
- Edossa, Desalegn & Babel, Mukand & Das Gupta, Ashim. 2010. Drought Analysis in the Awash River Basin, Ethiopia. *Water Resources Management*. 24. 1441-1460.
- Erinç, S., 1957. *Tatbiki klimatoloji ve Türkiye iklimi*, İ.T.Ü. Hidroloji Enstitüsü Yayınları, 252s.
- Eroğlu, Tülay & Apaydin, Halit. (2020). Estimation of Drought by Streamflow Drought Index (SDI) and Artificial Neural Networks (ANNs) in Ankara-Nallihan Region. *Turkish Journal of Agriculture- Food Science and Technology*. 8. 348.
- Gülmez, A., Mersin, D., Vaheddoost, B., & Safari, M. J. S., 2022. Evaluation of streamflow drought index in Aegean region, Turkey. In *International Conference on Natural Resources and Sustainable Environmental Management*. 208-213
- Gümüş, V. 2017. Akım Kuraklık İndeksi ile Asi Havzası'nın Hidrolojik Kuraklık Analizi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 5 (1), 65-73.
- Gümüş, V., Yıldız, M. S. ve Şimşek, O. 2018. Hidrolojik Kuraklık Değerlendirmesi: Murat Nehri-Palu Örneği. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3 (3), 297-301.
- Hong, X., Guo, S., Zhou, Y. and Xiong, L., 2015. Uncertainties in assessing hydrological drought using streamflow drought index for the upper Yangtze River basin, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(4): 1235-1247.
- Jahangir, M.H., Yarahmadi, Y., 2020. Hydrological drought Analyzing and Monitoring by Using Streamflow Drought Index (SDI) (case study: Lorestan, Iran). *Arab J Geosci* 13, 110
- Kale, M. M., 2021. Akarçay Kapalı Havzası için Hidrolojik Kuraklık Analizi. *Coğrafya Dergisi* (42), 165-180.
- Katipoğlu, O. M., Yeşilyurt, S. N. & Dalkılıç, H. Y., 2022. Yeşilirmak Havzasındaki Hidrolojik Kuraklıkların Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen Yöntemi ile Trend Analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12 (2), 422-442.
- Keskiner, A. D., 2022. Aydeniz Yöntemiyle Şanlıurfa İlinin Meteorolojik Kuraklık Riski Altındaki Alanlarının Belirlenmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7 (3), 139-151.
- Kumanlioglu, A., 2020. Hydrological Droughts and Trends of the Demirköprü Dam Basin on Gediz River, Turkey. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22 (66), 793-800.
- Kurnaz, L. 2014. Kuraklık ve Türkiye, İstanbul Politikalar Merkezi-Mercator Politika Notu,1-18.
- Manikandan, M., & Tamilmani, D., 2015. Assessing hydrological drought characteristics: A case study in a sub basin of Tamil Nadu, India. *Poljoprivredna tehnika*, 40(1), 72-83.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J., 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, 17-22 January, 179-184.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), 2022. Kuraklık ve Sınıflandırılmasına Ait Bilgiler. Erişim Tarihi: 09.10.2022 [https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/kuraklikanalizi.aspx?d=yontemsinif#:~:text=Kurakl%C4%B1k%20%22Ya%C4%9F%C4%B1%20%20kaydedilen%20normal%20seviyelerinin,\(BM%C3%87MS1%20%20C%201997\).](https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/kuraklikanalizi.aspx?d=yontemsinif#:~:text=Kurakl%C4%B1k%20%22Ya%C4%9F%C4%B1%20%20kaydedilen%20normal%20seviyelerinin,(BM%C3%87MS1%20%20C%201997).)
- Mhamd S. Oyoualsoud, Arwa Najah, Abdullah G. Yilmaz, Mohamed Abdallah ve Mohsin Siddique, 2022. Meteorological Drought Assessment in Sharjah, BAE Kullanarak Kuraklık Endeksleri, *International Journal of Environment Science and Development*, 13 (1), 16-20.
- Modarres, R., 2007. Streamflow drought time series forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21 (3), 223- 233.
- Morid, S., Smakhtin, V. ve Moghaddasi, M., 2006. Comparison of Seven Meteorological Indices for Drought Monitoring in Iran, *International Journal of Climatology*, 26, 971-985.
- Nalbantis, I., 2008. Evaluation of a hydrological drought index, *Eur Water*, 23(24): 67-77.
- Özcan, Mehmet & Gumus, Veysel & Simsek, Oguz & Şeker, Mehmet., 2019. Drought Analysis of Bitlis River Baykan Station with Streamflow Drought Index (SDI) Method. *Academic Perspective Procedia*. 2. 1100-1106.
- Özfidaner, M., Şapolyo, D. & Topaloğlu, F. 2018. Seyhan Havzası Akım Verilerinin Hidrolojik Kuraklık Analizi. *Toprak Su Dergisi*, 7 (1), 57-64.
- Özkaya, A. ve Zerberg, Y. 2019. Dicle Havzası, Türkiye Hidrolojik Kuraklık Endeksinin 40 Yıllık Analizi. *Su*, 11 (4), 657.
- Palmer, W. C., 1965. *Meteorological Drought*, Research Paper No. 45. US Department of Commerce Weather Bureau, Washington DC.
- Shafer B, Dezman L., 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to Assess the Severity of Drought Conditions in Snowpack Runoff Areas. *Proceedings of the Western Snow Conference*. 50. Colorado State University Fort Collins, CO, 164-75.
- Solaimani Sardou, F., Bahramand, A., 2014. Hydrological Drought Analysis Using SDI Index In Halilrud Basin Of Iran. *Environmental Resources Research*, 2(1), 47-56.

- 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.
- Şener, E. & Şener, Ş., 2019. Meteorolojik Kuraklığın Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Zamansal ve Konumsal Analizi: Çorak Gölü Havzası (BURDUR-TÜRKİYE) Örneği. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(3), 596-607.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2022. Gediz Nehir Havzası Taşkın Yönetim Planı. Erişim Tarihi 09.10.2022 <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/NHYP%20DENİZ/GEDİZ%20NEHİR%20AVZASI%20YÖNETİM%20PLANI.pdf>
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2022. Büyük Menderes Havzası Taşkın Yönetim Planı. Erişim Tarihi 09.10.2022 <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Taşkın%20Yönetim%20Planları/BÜYÜK%20MENDERES%20HAVZASI%20TAŞKIN%20YONETIM%20PLANI.pdf>
- Tabari, H., Nikbakht, J. & Hosseinzadeh Talae, P., 2013. Hydrological Drought Assessment in Northwestern Iran Based on Streamflow Drought Index (SDI). Water Resour Manage 27, 137-151.
- Tas, İ. Yıldırım, Y. E. & Aras, İ. (2020). Konya Kapalı Havzası İçin Gelecekteki Olası Hidrolojik Kurak Dönemle. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 7 (3), 699-709.
- Terzi Ö. ve Taylan E. D., 2019. Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Analizi: Manavgat Nehri Örneği. 10. Ulusal Hidroloji Kongresi, Muğla, Turkey, 447-456.
- Tsakiris, G., Pangalou, D. and Vangelis, H., 2007. "Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI)", Water Resources Management, 21(5): 821-833.
- Turhan, E., Duyan Çulha, B. & Değerli, S., 2022. Akım Kuraklık İndeksi Yönteminin Farklı Zaman Ölçekleri İçin Hidrolojik Olarak Değerlendirilmesi: Arsuz Ovası Örnek Çalışması. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 8 (1), 25-36.
- Uşak Belediyesi, 2022, Uşak İlinin Coğrafi Yapısı Hakkında Bilgi. Erişim Tarihi. 17.10.2022 <https://www.usak.bel.tr/sayfa/cografi-yapisi/#:~:text=U%C5%9Fak%20ili%2C%20Ege%20B%C3%B6lgesinin%20C4%B0%CA7bat%20dakika%20boylamlar%20aras%C4%B1nda%20yer%20al%C4%B1r.>
- Van Rooy, M. P., 1965. A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space. Notos 14, 43.
- Willeke, G., Hosking, J.R., Wallis, J.R., ve Guttman, N.B., 1994. The National Drought Atlas. Institute for Water Resources Report 94-NDS-4. U.S. Army Corps of Engineers.
- WMO, 1997. Extreme Agrometeorological Events, World Meteorological Organization, CagM-X Working Group, Geneva.
- Wu, H., Hayes, M. J., Weiss, A., ve Hu, Q., 2001. An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the Statistical Z-Score, International Journal of Climatology, 21, 745-758.
- Yeh, Chen-Feng, Jinge Wang, Hsin-Fu Yeh, and Cheng-Haw Lee., 2015. SDI and Markov Chains for Regional Drought Characteristics. Sustainability 7(8). 10789-10808.
- Yüce, M. İ., Aksoy, H., Aytekin, A., Eşit, M., Uğur, F., Yaşa, İ., Şimşek, A. & Deger, İ. H., 2022. SPI ve SPEI ile Samsun İli Kuraklık Analizi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25 (3), 285-295.



A PRODUCTION LINE ASSIGNMENT PROBLEM FOR A TEXTILE INDUSTRY

Naira Abdelsalam, Fardus Mohammad, Hüseyin Eder, Ahmed W.E. Abuyoussef, Oncel Kaya,
Akif Can Kilic, İlayda Ulku*

İstanbul Kültür University, Engineering Faculty, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Türkiye

Keywords

Assignment Problem,
Mixed-Integer-Linear
Programming,
Production Line,
Textile Industry,
Production Planning.

Abstract

In this study, the production process of Karaman Textiles, for which production planning is done manually, was observed and analyzed. This study aims to minimize the unused machine capacity and idle time of the existing system by developing a mixed integer programming (MIP) model, developing scenarios, and obtaining the results with GAMS software. In addition, the results of the scenarios are compared and evaluated to reach the optimal result that meets and maximizes the efficiency of the production process. The company's usual production planning is done manually and determined according to annual demand. The study aims to minimize the machine working times and that complete planning of the production in the most optimal way. In this study, the company's production time and machine usage times were optimized, and under normal conditions, 15,000 fabric pants were produced for 8 hours a day, 5 days a week, and 4 weeks a month. The scenario analysis aimed to produce by adding 4,000 pieces of velvet pants in addition to 15,000 fabric pants in the first scenario. The second scenario aims to minimize the production time of 15,000 fabric pants by limiting the working times of the machines owned by the company.

BİR TEKSTİL ŞİRKETİ İÇİN ÜRETİM HATTI ATAMA PROBLEMİ

Anahtar Kelimeler

Atama Problemi,
Karışık Tam Sayılı Doğrusal
Programlama,
Üretim Hattı,
Tekstil Endüstrisi,
Üretim Planlama.

Öz

Bu çalışmada, üretim planlaması elle yapılan Karaman Tekstil'in üretim süreci gözlemlenmiş ve analiz edilmiştir. Bu çalışma, bir karma tamsayı programlama modeliyle, senaryolar geliştirerek ve sonuçları GAMS yazılımı ile elde ederek mevcut sistemin kullanılmayan makine kapasitesini ve boşta kalma süresini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, üretim sürecinin verimliliğini karşılayan ve maksimize eden optimal sonuca ulaşmak için senaryoların sonuçları karşılaştırılmakta ve değerlendirilmektedir. Şirketin olağan üretim planlaması elle yapılmakta ve yıllık talebe göre belirlenmektedir. Çalışma, makine çalışma sürelerinin en aza indirilmesini ve üretim planlamasının optimal şekilde tamamlanmasını amaçlamaktadır. Bu çalışmada, firmanın üretim süresi ve makine kullanım süreleri optimize edilmiş olup, normal şartlar altında, günde 8 saat, haftada 5 gün ve ayda 4 hafta olmak üzere 15.000 kumaş pantolon üretilmiştir. Senaryo analizi, ilk senaryoda 15.000 adet kumaş pantolona ek olarak 4.000 adet kadife pantolon eklenerek üretilmesi hedeflenmiştir. İkinci senaryoda ise şirkete ait makinelerin çalışma sürelerinin sınırlandırılarak 15.000 kumaş pantolon üretim süresinin en aza indirilmesi planlanmıştır.

Alıntı / Cite

Abdelsalam, N., Mohammad, F., Eder, H., Abuyoussef, A., W., E., Kaya, Ö., Kilic, A., C., Ulku, I., (2023). A Production Line Assignment Problem for a Textile Industry, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(1), 22-32.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

N. Abdelsalam, 0000-0002-8145-0059
F. Mohammad, 0000-0003-3896-0835
H. Eder, 0000-0002-1744-8579
A. W. E. Abuyoussef, 0000-0003-3896-0835
O. Kaya, 0000-0001-6818-0552
A. C. Kilic, 0000-0003-3260-1508
I. Ulku, 0000-0003-0464-7007

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 11.04.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date 12.10.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date 12.12.2022
Yayın Tarihi / Published Date 27.03.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: i.karabulut@iku.edu.tr, +90-212-498-42-44

A PRODUCTION LINE ASSIGNMENT PROBLEM FOR A TEXTILE INDUSTRY

Naira ABDELSALAM, Fardus MOHAMMOUD, Hüseyin EDER, Ahmed W.E. ABUYOUSSEF, Oncel KAYA, Akif Can KILIC, İlayda ULKU[†]
İstanbul Kültür University, Engineering Faculty, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Türkiye

Highlights

- This study aims to minimize the unused machine capacity and idle time of the existing system by developing a mixed integer programming (MIP) model. Several scenarios are developed. The results are obtained with the GAMS software. Also, the results are compared and evaluated to reach the optimal result that maximizes the efficiency of the production process. The process of making pants passes through 5 essential stages and the demand is 15,000 pants to be completed in 30 days. The model worked on minimizing the unused machine capacity by converting the specified demand into time.
 - This study also minimizes the machine working times and complete planning of the production in the optimal way. The real data is obtained in order to use the company's production time and machine usage times and then it is optimized.
The scenario analysis aimed to produce by adding 4,000 pieces of velvet pants in addition to 15,000 fabric pants in the first scenario. The second scenario aims to minimize the production time of 15,000 fabric pants by limiting the working times of the machines owned by the company.
 - To ensure continuous growth and success by meeting demands and customer satisfaction, it is recommended to do further studies that focus on the other weak points of the company.
-

Purpose and Scope

In this study, the production process of a textiles industry is observed where the production planning is performed manually. Thus, with this study, minimizing the unused machine capacity and idle time of the existing system is the main motivation of the research.

Design/methodology/approach

A mixed integer programming (MIP) model is developed which minimizes the total unused capacity. With the objective function, there are several constraints in order to solve the exact problem. First of all, each job must be assigned to a machine, the number of machines must be balanced with the capacities, the total assigned jobs must be less than and equal to the number of required machines.

Findings

The results of the MIP model and GAMS software are analyzed and compared with different scenarios. The total monthly working hour is 302,400 seconds, and 12 out of 14 machines are used. The capacity of the 14 machines was calculated as 4,233,600. In the suggested scenario, the wasted time was decreased so the company became using 12 machines and used 73.92% of the machine time instead of 51.75% in their normal conditions. This scenario would increase work efficiency by minimizing the working time of producing the product which will lead to the ability to meet the demand in the needed time and even being able to increase it.

Research limitations/implications (if applicable)

The company is planning to expand opening a new branch and increasing its production capacity. It is essential to pick the right location for the new branch, decide on the number of machines and workforce needed, and determine if the new branch would include a warehouse for the finished products or not, so future studies could include a studied decision about the new branch of the company.

Practical implications (if applicable)

In this paper, a textiles industry's production process is observed where the production planning is performed manually. Therefore, the proposed model focuses on minimizing the unused machine capacity by converting the specified demand into time. In this study, two scenarios were suggested where both could positively impact the company's performance. In the first scenario, jobs were examined, and the number of machines used was calculated. This scenario leads to a decrease in the unused machine capacities and minimized the lead time. In the second scenario, decreasing working hours to 7 hours and working days to 3 days were the main targets. The wasted time was decreased so the company became using 12 machines with a capacity of 73.92% of the machine time instead of 51.75% in their current conditions.

[†] Corresponding author: i.karabulut@iku.edu.tr, +90-212-498-42-44

Social Implications (if applicable)

The capacity of their current resources are used efficiently, thus with this paper climate and environmental issues are improved in terms of carbon emissions which is a crucial factor for the production industries.

Originality

In this study, the production process of a textiles industry is observed where the production planning is performed manually. Thus, with this study, a real data is used in order to minimizing the unused machine capacity and idle time of a real existing system. Therefore, the results can be applied and the efficiency of the proposed model can be used as a regular production planning process for any production industry.

1. Introduction

Industries are a crucial part of the economy of any country because it is responsible for the conversion and processing of raw materials into finished products that cover the needs of the society and as a result of globalization, a huge trading network where all kinds of goods are exchanged, generating the movement of money around the world. Industrial production and manufacturing are the most essential sector in Turkey. Manufacturing refers for nearly 85 percent of the total production and the top five segments in Turkey are gradually among the biggest: food production which represents 16% of total production, metals 11%, motor vehicles and trailers 9%, textile 8%, and non-metallic mineral products 6% (TÜİK, 2021). Considering the textile production in the world, Turkey is among the world's leading textile and clothing producers and the world's sixth-largest supplier, and the EU's third-largest supplier. By the IGEA (Istanbul Garment Exporters Association), the sector accounted for 10.1 percent of the country's overall exports of \$14.8 billion in January 2020, with \$1.5 billion in exports, up 5.8% from the same month the previous year. In addition to that, the sector is important as more than one million people work in Turkey's textile and ready-to-wear industries. This number is expected to rise in the next years because of increased investments and exports (TÜİK, 2020).

In this highly competitive market, companies must plan their production properly to meet the demand on time, employ fewer workers and machines, avoid overtime, and maintain high customer satisfaction. Subsequently, these factors will turn the company into a leading company in its sector and help in further expansion in less time. Among the textile companies in Turkey, this paper will be focusing on the Karaman Textile Company, which was founded in 1994 and is located in Istanbul. The company produces mainly pants with a monthly output of 2,600 pants and a demand of 35,000 pants yearly. The company is facing some issues that would affect its products and affect its income adversely. These problems include mainly the delay in the completion of the production, besides the lack of expertise in expecting and determining the time when the job leaves the system, and the inability on meeting the demand. Subsequently, this study aims at finding solutions for the issues facing the company besides studying the production system and suggesting better production schedules. In addition to that, the study will propose a recruitment process for more experienced employees and will help in optimizing production by minimizing the idle time of laborers and machines and finding out the optimal number of machines needed to increase productivity and meet the demand. The remaining part of this paper is as follows: the literature review is given in section 2. The proposed mathematical model is represented in detail in section 3. Section 4 gives brief information about the methodology and the implementation and results are represented in Section 5. The Paper concludes with a conclusion in Section 6.

2. Literature Survey

In the previous studies, various production configurations were examined. A model was tested by using a discrete-event simulation model in a clothing company and the study aims at improving the manufacturing process. Results indicate that the independent factors affect the production size in different dimensions (Bevilacqua *et al.*, 2013). Besides that, another study aimed to reduce cycle time for several workstations by prioritizing the constraints of resources, resource types, and precedence relations. The study proposed an assembly line stabilizing for this intricate clothing assembly line. Arena simulations software was used to perform a discrete event simulation of the trouser assembly (Bongomin *et al.*, 2020). Some studies revised the production line architectures by mixing and integrating two different lines and improved production efficiency, reducing production costs (Zhao *et al.*, 2022). A review study for assembling line balance problems advised using decision support software and experienced planners to reduce planning time and effort (Boysen *et al.*, 2022). Another study focused on personalized product production systems' assembly line optimization, and they applied two-step multi-manned assembly lines for customized manufacturing and achieved a utilization rate of more than 90% (Pilati *et al.*, 2022).

If the problem is considered as a linear programming model, a study related to the assignment of semiconductor wafers to consumer orders, an objective function defined as to minimize the cumulative overallocation. The

constraints such as that all clients' demands are covered, and that a wafer cannot be assigned to more than one order are given (Deenen *et al.*, 2020). In another study, a MIP model was developed to reduce the total delay of customer orders. The objective is to determine the starting time of dyeing and weaving to minimize the total tardiness of the sequence. Constraints such as each task having only a prior and one successor task, and in both the weaving and dyeing stages, each task must be assigned to only one task each task has only one prior task, and one successor task is determined (Hsu *et al.*, 2009). In another assignment problem, it is determined that tasks can be assigned to one batch and one machine while ensuring that all tasks can be finished before their deadlines. The study aims to create a multi-subpopulation genetic algorithm that minimizes the completion time of jobs and the make-span to improve the textile batch coloring schedule. Constraints ensure that every single batch belongs to a single group and that only jobs in the same group can be batched together and guarantee that the batch capacity does not exceed the determined capacity (Huynh and Chien, 2018). If the objective becomes minimizing both cycle time and maximum physical labor of the workstations, constraints could be considered as each task is delegated to only one workstation, and each employee is assigned only one workstation (Katirae *et al.*, 2021).

A study conducted in another textile company has four production patterns that produce pants that targeted the best fit for customers and developed an optimum pattern. The key finding of the study is that there is a need for further studies on optimum body shapes and sizes to produce effectively and more focus on the development of trouser-making patterns (Kim *et al.*, 2020). Another study aims to create an optimal parallel machine schedule that minimizes the total delay and they used constraints such as the total amount of sub-tasks of a task processed on different machines being equal to the size of the task, the number of sub-tasks of a task on a machine is equal to zero if the task is not processed on the machine, and ensuring a task is properly linked to a machine (Lim and Cassidy, 2017). Another linear programming example that used the MIP model aims to minimize the make-span of the cutting process in a manufacturing system. The constraints in that study determined such as the make-span of the cutting process in a manufacturing system and determined such as the make-span of the schedule should exceed the completion time of each fabric layer, and if the fabric layer is chopped on the table the farther end of the fabric lay should be on the inside of the cutting table (Wang *et al.*, 2016).

Also, in some studies, the lengthy production lead time and low throughput were addressed, and computer simulation was used to determine the optimal solution to increase productivity. The performance of the existing sewing line was modeled by Arena Software and the collected data were statistically analyzed. The proposed new sewing assembly line increases the system utilization and efficiency without any additional costs (Yemane *et al.*, 2020). There are special models developed for the steel industry in terms of decreasing the time and waste amount for the cutting stock problem (Durakbasa and Gencyilmaz, 2022a). Moreover, the assignment models can be used to allocate the capacities of the vehicles concerning the low cost of the weekly logistics plan (Durakbasa and Gencyilmaz, 2022b).

Additionally, there are some examples from the food sector, too. Research conducted on food manufacturing used integer linear programming and heuristic algorithm to formulate a strategy to minimize the sum of all costs of manufacturing and warehouse operations. The constraints ensure that the quantity of items transferred from the manufacturing area to the warehouse equals the quantity manufactured, and a product can be manufactured only when the manufactured line is set up (Zhang *et al.*, 2021). Ünal and Yüksel generated a nonlinear MIP model to minimize the total usage of fabric with constraints such as the number of plies belonging to each spreading must be less than the maximum number, the number of cut pieces must be greater than the order, and less than the excess cutting share for each size (Ünal and Yüksel, 2020). Among several studies in the literature, a MIP model is proposed in order to solve the machine-job assignment model for a textile company. There are two scenarios represented in this paper in terms of changing the working hours to minimize the total unused capacity of the machines. The assignment results with different working hours vary in order to meet the company's customer demand.

3. Problem Definition

This section gives a summary of the company, products, and production, and details of the problem. The in-house departments are design, development, sewing, cutting, printing, ironing, and packaging. The production department has 14 machines to deliver customer orders on time. The company makes production according to forecasted values for the next season as it follows seasonal production. They produce summer clothes in winter and winter clothes in summer. The monthly output of the company is 2,600 pants but this number increases to 7,000 pants by increasing staff and machine numbers. The previous year company had a demand for 35,000 pairs of pants and it takes 12 minutes to produce each pair of pants. The company has seven main types of machines, there are 3 overlock machines, 5 singer machines, and 2 piping machines with the same properties.

There are 1 belt, 1 iron, 1 cutting, and 1 packaging machine. In total, the company has 14 machines to satisfy the demand.

When the company finishes the forecasting, the development department visualizes the ideas of the customer with fashion designers to create and cut collection patterns in a stage called the drawing stage. Then the types and number of machines to produce the final products are estimated and the time needed to finish the production is calculated depending on the working hours of the employees besides the time needed for the machines to finish the job. The job is passed from development to the cutting and sewing department, then to printing and finishing, and lastly to the labels, ironing, and packaging department. In Figure 1, this process has been summarized.

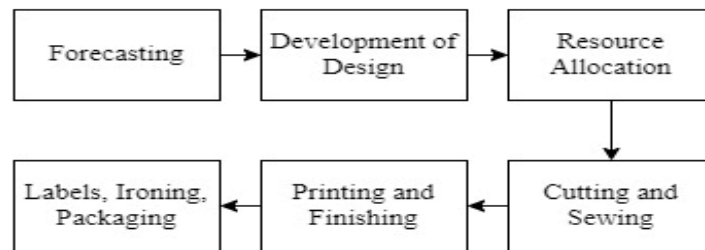


Figure 1. Process Flowchart of Production

The company focuses on the production of pants and three different types of pants are produced. The demand for pants is 15,000 pairs; however, it could not be met due to a lack of manpower and idle time. In this study, an alternative production planning method will be studied to minimize the total unused capacity of the machines and total costs; hence productivity will be maximized. The company’s processes will be analyzed, and an optimal schedule will be offered that increases the system’s productivity, reduces idle time, and meets the demand.

4. Methodology

This section includes an assignment model which was generated using a MIP method to appoint the phases of production of pants to the machines and to minimize the unused capacity, and the indices, parameters, and decision variables of this model.

In this study, these assumptions have been made:

- It is presumed that the demands, machine capacity, and working hours are in seconds.
- It is deemed that the required machine numbers, which are not found as integers, are rounded up to be an upper integer.

4.1. Model Indices, Parameters and Decision Variables

Hence, the following indices are used to develop the proposed model: *i* represents the number of all machines (overlock 1, overlock 2, overlock 3, singer 1, singer 2, singer 3, singer 4, singer 5, belt 1, iron 1, pipping 1, pipping 2, packaging 1, cutting 1) and *j* imposes represents all jobs that are done in machines (main part 1, main part 2, main part 3, main part 4, plato 1, plato 2, pocket 1, pocket 2, inner pockets 1, inner pockets 2, inner pockets 3, inner pockets 4, zipper 1, zipper 2, bridge 1, bridge 2, belt.). In addition, *k* is used for the types of machines (overlock, singer, belt, ironing, pipping, packaging, cutting). In order to solve this problem, the following sets are assumed to be known:

- I: Set of all machines *i*
- J: Set of all jobs *j*
- K: Set of machine types *k*

Parameters that are required to define the assignment model are as follows:

- dem_{jk}** = Quantity of orders for job *j* to be delivered for the overlock type of machine (seconds)
- mcap_{jk}** = Capacity of overlock machine in seconds
- nmach_k** = Machine number in the facility

The decision variables that are used in the developed mathematical model are as follows:

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{if the machine } i \text{ is used} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if machine } i \text{ does job } j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

unusedcap_{ik} = unused capacity of the machine *i* of machine type *k*

4.2. Mathematical Model

The provided mathematical model is as follows:

$$\min z = \sum_i \sum_k \text{unusedcap}_{ik} \tag{1}$$

s.t.

$$\sum_i x_{ij} = 1 \quad \forall j \tag{2}$$

$$\sum_j (x_{ij} * \text{dem}_{ik}) + \text{unusedcap}_{i,k} = \sum_j \text{mcap}_{j,k} * y_i \quad \forall i \in I, \forall k \in K \tag{3}$$

$$\sum_j x_{ij} \leq \text{nmach}_k * y_i \quad \forall i \in I, \forall k \in K \tag{4}$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \tag{5}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \tag{6}$$

$$\text{unusedcap}_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \tag{7}$$

The objective function is given in Equation (1) which minimizes the total unused capacity. Equation (2) indicates that each job must be assigned to a machine. Equation (3) illustrates the number of machines that are allocated to their unused capacity, must be balanced with the capacities of each machine. To associate the binary variables, Equation (4) is used to denote that the sum of assigned jobs must be less than and equal to the number of required machines. The integrality of the decision variables is represented by Equation (5) and Equation (6). Finally, the non-negativity of the decision variables is represented with Equation (7).

5. Implementation and Results

In this section the results of the MIP model and GAMS software are analyzed and compared with different scenarios, to achieve an optimal solution to minimize unused capacity and idle time. Hence, the proposed model is formulated in GAMS 35 (Brooke et al., 1998) and solved using the CPLEX 20 solver to find the optimal solution. The model is run on a computer of 2.9 GHz and 16 GB of RAM which takes a very short time. The characteristics of the proposed model are given in the following Table 1.

Table 1. Model Characteristics

Blocks of Equations	22
Single Equations	95
Blocks of Variables	4
Single Variables	207
Non Zero Elements	591
Discrete Variables	192
Generation Time (Seconds)	0.609
Solver Memory (MB)	4

5.1. Data Collected

The needed data was obtained from the company to solve the assignment problem by developing a MIP model via GAMS software. The purpose of this model is to try to minimize unused machine capacity for the selected product. The product is pants that consist of 5 phases of production. The product's demand is 15,000 pairs and it should be delivered within 30 days.

Each of the 5 phases which are essential for the completion of the product is set as a job to be assigned to a machine. Therefore, the demand for each job has been set as 15,000 pairs of pants in the developed model. This is because one job is apportioned to multiple machines, so the idle time on this machine is important for its

primary purpose. The result of the amount of idle capacity over time is obtained at the end and unused time is minimized for each scenario. Therefore, the required quantity specified in 15,000 units per order is converted to time.

5.2. Output Data

GAMS software is used to solve the mathematical model provided in section 4. GAMS output shows the number of unused capacities for each type of machine. 7 types of machines are shown in Table 2 where the total amount of machines used by all jobs for each machine type. Every job is assigned to a machine running in a ratio that does not exceed the total number of machines required.

Table 2. The Total Number of Machine Used

Machine	Number of Assigned Machines
Overlock	2
Singer	2
Belt	1
Pipping	1
Ironing	1
Cutting	1
Packaging	1

Figure 2 shows a comparison of the used and unused capacities of the machines. The blue part shows the used capacity and the orange shows the unused capacity. The machine capacity is determined by the difference between the total working time in seconds per month and the total processing time of each job that is assigned to the machine in seconds per month. As can be seen, overlock and singer machines have less idle capacity compared to other machines.

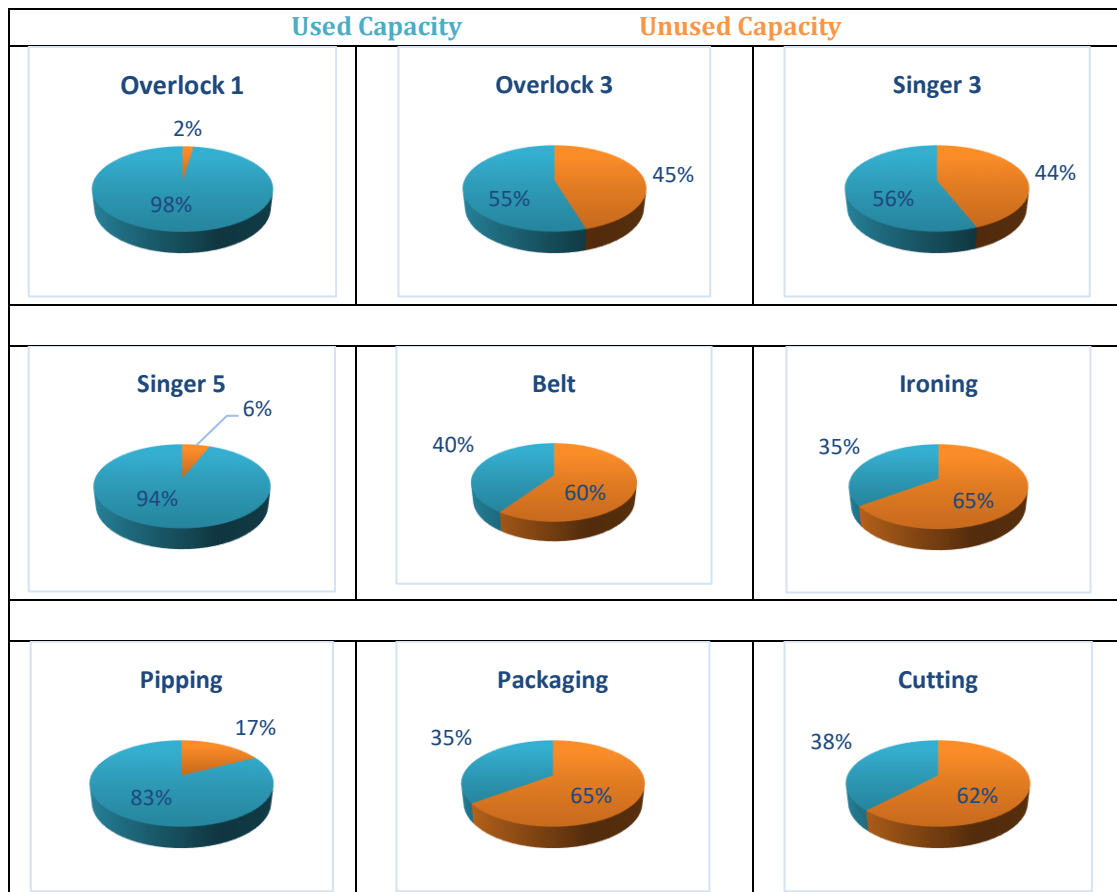


Figure 2. Comparison of the Used/Unused Capacities of Machines

5.3. Scenario I

The main objective of the first scenario is to monitor variations in unused capacity and the number of machines being used. The aim of changing the working hours is to represent if the company can meet the customer demand with flexible working hours. If the number of machines required, exceeds the maximum number of machines, a new machine will be used. Completion time, hourly demand, unit demand, and daily working hours remain as same as in section 5.1. In this scenario, a new product, velvet pants, is added to evaluate the unused capacity of the machines. In addition to the standard annual production of 15,000 fabric pants, 4,000 velvet pants were produced.

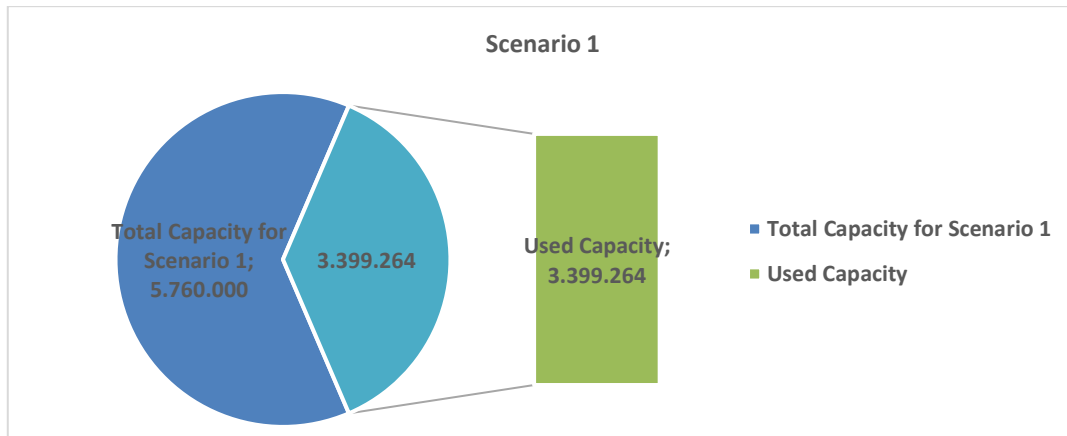


Figure 3. Total Used Capacity for Scenario 1

Each machine has 576,000 seconds of working hour capacity per month per second. Hence, there are 8 working hours in a day and 20 days in a month to calculate the total available capacity, 576,000 seconds are obtained per machine per month. Figure 3 indicates the time of available machine capacity usage. In Scenario 1, the company has 14 machines and each of them can work 576,000 seconds in a month. Each machine's working time is multiplied by the number of machines. In total there are 14 machines, however, 10 machines are assigned for Scenario 1. Thus, with 10 machines, the total available processing time capacity is 5,760,000 seconds. In scenario 1, 10 machines are used for a total of 3,399,264 seconds as represented in Figure 3. Therefore, in this scenario, the company uses time more efficiently when they produce the additional 4,000 units of velvet pants in comparison to the initial case with 9 machines.

As a result of this scenario, the production of velvet pants with an annual demand forecast of 4,000 has been realized. As a result, the number of machines used increased from 9 to 10. The machine's operating time in seconds and the company's working hours were kept at a constant value of 576,000 seconds.

5.4. Scenario II

The main purpose of the second scenario is to monitor the changes in the unused capacity when there is a reduction in working days and working hours. In this case, the time that machines are being used and the working times of the company were limited. The usual working hours are eight hours a day, five days a week, and four weeks a month. The company decided to produce fabric pants with an annual demand of 15,000, which continues to be produced in the usual way, by minimizing the working time of the machines. In the second scenario, the machines are arranged to work seven hours a day, three days a week, and four weeks a month. As an outcome of the obtained assignment model, it is determined that each machine should perform 302,400 seconds per month. After the assignment model, there are 12 machines assigned for Scenario 2 with a total available capacity of 3,628,800 seconds among 14 machines in the company. In Scenario 2, the company uses 2,682,500 seconds of total machine capacity determined for Scenario 2 as represented in the following Figure 4.

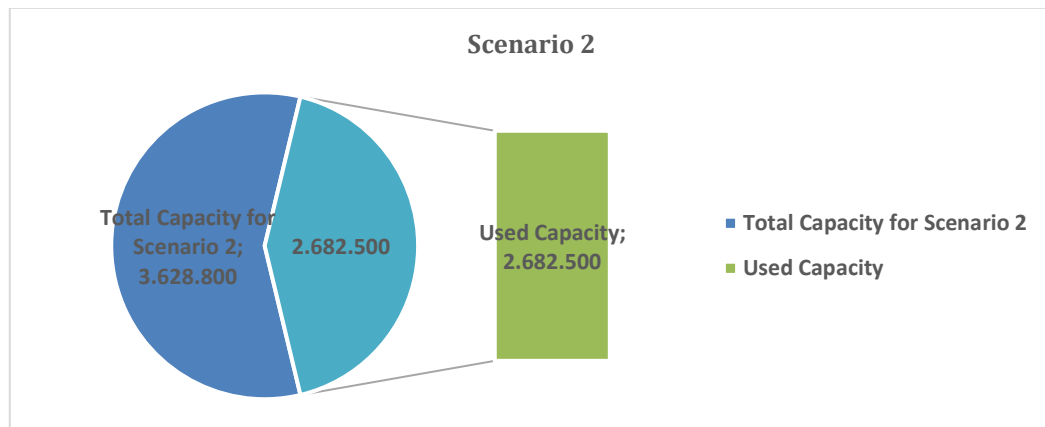


Figure 4. Total Used Capacity for Scenario 2

The data provided is used to solve the model presented in section 4, using GAMS software. In this scenario, to minimize the production time, the machines are used to their maximum capacity. Figure 5 shows a comparison of the number of machines that are used in the initial model and the first scenario. These results are obtained through GAMS software output. It is represented that when the working hours and days are reduced, the company needs to increase the number of machines as given in the figure. For Scenario 2, as long as the total working hours are decreased the company should use 3 overlook and 3 singer machines to satisfy the demand.

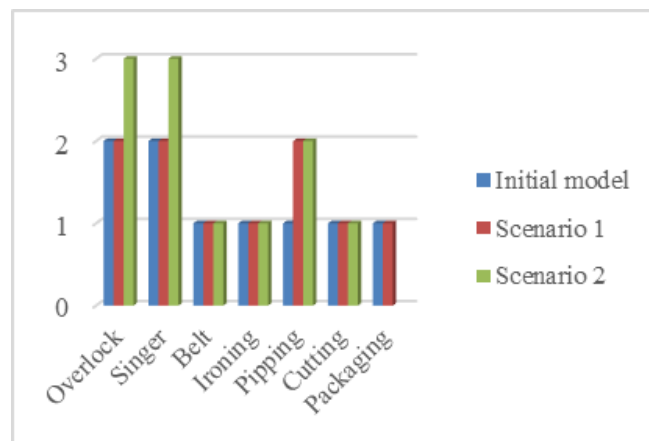


Figure 5. Comparison of the Number of Machines Used in Each Scenario

Table 3 interprets the comparison of conditions of the two scenarios below. As long as the parameters are changed the variables are affected. With the scenarios, the various conditions in terms of changing working hours are considered. Then the proposed model assigns each job to the corresponding machine, and the total assigned machine numbers are obtained in order to satisfy customer demand.

Table 3. Comparison of Two Scenarios

	Scenario I	Scenario II
Working Hour in a Day	8 hours	7 hours
Working Day in a Week	5 days	3 days
Working Week in a Month	4 weeks	4 weeks
Total Hours in a Month	160 hours	84 hours
Total Number of Machines Used	10 machines	12 machines
Available Working Hour per Machine	576,000 seconds	302,400 seconds
Used Capacity	3,399,264 seconds	2,682,500 seconds

6. Conclusion

The lack of expertise in production planning results in a disturbance for the whole company cycle. The improper production planning leads to the failure in meeting demand because of the lack of needed manpower and the high idle time. The inability to meet the demand would lead to a low level of customer satisfaction and increase the pressure on the employees due to overtime work. Subsequently, this could result in the company's loss if not realized as quickly as possible. In this paper, the company's processes were examined and realized to determine the optimal schedule that increases the system's productivity, reduces idle time, and meets the demand. To achieve that, data was gathered, MIP was applied to the assignment problem and GAMS software was used as a problem solver.

The process of making pants passes through 5 essential stages and the demand is 15,000 pants to be completed in 30 days. The model worked on minimizing the unused machine capacity by converting the specified demand into time. In this study, two scenarios were suggested where both could positively impact the company's performance. In the first scenario, jobs were examined, and the number of machines used was calculated. This scenario leads to a decrease in the unused machine capacities and minimized the lead time. In the second scenario, decreasing working hours to 7 hours and working days to 3 days were the main targets. So, the total monthly working hour is 302,400 seconds, and 12 out of 14 machines are used. The capacity of the 14 machines was calculated as 4,233,600. In the suggested scenario, the wasted time was decreased so the company became using 12 machines and used 73.92% of the machine time instead of 51.75% in their normal conditions. This scenario would increase work efficiency by minimizing the working time of producing the product which will lead to the ability to meet the demand in the needed time and even being able to increase it.

As a result, the company could implement one of the scenarios to be able to meet demand. Additionally, after the usage of a new scenario, there should be continuous monitoring to evaluate the performance of the cycle and to ensure continuous growth and success by meeting demands and customer satisfaction. It is recommended to do further studies that focus on the other weak points of the company that might have an impact on its performance. Moreover, the company is planning to expand by opening a new branch and increasing its production capacity. It is essential to pick the right location for the new branch, decide on the number of machines and workforce needed, and determine if the new branch would include a warehouse for the finished products or not, so future studies could include a studied decision about the new branch of the company.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Bevilacqua M., Ciarapica, F., Crosta, A., Mazzuto G., and Paciarotti, C., 2013. Designing an efficient production system: A case study of a clothing company, *Int. J. Eng.*, vol. 5, pp. 36.
- Bongomin, O., Mwasiagi, J., Nganyi, E., and Nibikora, I., 2020. Simulation metamodeling approach to complex design of Garment Assembly Lines, *PLOS ONE*, vol. 15, no. 9, pp. 1-22.
- Boysen, N., Schulze, P., & Scholl, A., 2022. Assembly line balancing: What happened in the last fifteen years?, *European Journal of Operational Research* vol. 301, no. 3, pp. 797-814.
- Brooke, A., Kendrick, D., Meeraus, A., Raman, R., 1998. *GAMS:A User's Guide*. GAMS Development Co., Washington, DC.
- Deenen, P., Adan, J., and Akcay, A., 2020. Optimizing class-constrained wafer-to-order allocation in semiconductor back-end production, *J. Manuf. Syst.*, vol. 57, pp. 72-81.
- Durakbasa, N.M., and Gençylmaz, M.G., 2022a. Digitizing Production Systems, *LNME*, pp. 500-509.
- Durakbasa, N.M., and Gençylmaz, M.G., 2022b. Digitizing Production Systems, *LNME*, pp. 510-518.
- Hsu, H.M., Hsiung, Y., Chen, Y.Z., and Wu, M.C., 2009. A GA methodology for the scheduling of yarn-dyed textile production, *Exp. Syst. with Appl.*, vol. 36, pp. 12095-12103.
- Huynh, N., and Chien, C., 2018. A hybrid multi-subpopulation genetic algorithm for textile batch dyeing scheduling and an empirical study, *Comp. & Ind. Eng.*, vol. 125, pp. 615-627
- Katirae, N., Calzavara, M., Finco, S., and Battini, D., 2021. Consideration of workforce differences in assembly line balancing and worker assignment problem, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 54, no. 1, pp. 13-18.
- Kim, J.G., Song, S., and Jeong, B.J., 2020. Minimising total tardiness for the identical parallel machine scheduling problem with splitting jobs and sequence-dependent setup times, *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 6, pp. 1628-1643.
- Lim, H.W., Cassidy, T., 2017. A comparative study of trouser pattern making methods, *Text. Eng. & Fash. Tech.*, vol. 1, no. 5, pp. 189-196.
- Pilati, F., Lelli, G., Regattieri, A., & Ferrari, E., 2022. Assembly line balancing and activity scheduling for customised products manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 120, no: 5, pp. 3925-3946.
- TÜİK (Turkish Statistical Institute), 2020, Available: [https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yillik-Sanayi-Urun-\(PRODCOM\)-Istatistikleri-2020-37494](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yillik-Sanayi-Urun-(PRODCOM)-Istatistikleri-2020-37494)

- TÜİK, (Turkish Statistical Institute), 2021. Turkey Manufacturing Production. Available: <https://data.tuik.gov.tr/>
- Ünal, C., Yüksel, A.D., 2020. Cut order planning optimization in the apparel industry, *Fibr. & Text. In East. Eur.*, vol. 139, no: 1, pp. 8-13.
- Wang, T.J., Peng, J.Y., Hung, Y.F., 2016. Modeling fabric cutting scheduling as mixed integer programming, in *IEEE Int. Conf. Ind. on. Eng. & Eng. Mng.*, 2016, pp. 922-926.
- Yemane, A., Gebremicheal, G., Meraha, T., and Hailemicheal, M., 2020. Productivity improvement throught line balancing by using simulation modelling, *J. Optim. Ind. Eng.*, vol. 13, no. 1, pp. 153-165.
- Zhang, G., Shang, X., Alawneh, F., Yang, Y., Nishi, T., 2021. Integrated production planning and warehouse storage assignment problem: An IoT assisted case, *Int. J. of Prod. Econ.*, vol. 234, pp. 108058.
- Zhao, R., Zou, G., Su, Q., Zou, S., Deng, W., Yu, A., & Zhang, H., 2022. Digital Twins-Based Production Line Design and Simulation Optimization of Large-Scale Mobile Phone Assembly Workshop, *Machines*, 10(5), 367.



IMPACT OF LACTICASEIBACILLUS PARACASEI SUBSP. TOLERANS, LEVILACTOBACILLUS PARABREVIS AND LATILACTOBACILLUS CURVATUS STRAINS ON TEXTURE, RHEOLOGY AND MICROSTRUCTURE OF DAIRY-BASED FERMENTED PRODUCT

Nilgün ÖZDEMİR*

Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Samsun, Turkey

Keywords

Lacticaseibacillus Paracasei
Subsp. Tolerans,
Levilactobacillus Parabrevis,
Latilactobacillus Curvatus,
Texture,
Rheology,
Microstructure.

Abstract

Functional microorganisms and/or their metabolites, as well as the health advantages of foods, their texture, structure and sensory quality are also very important factors that can affect consumer decisions. There are scientific studies on these properties, however, in order to achieve the best function of strain, it firstly need to find the specific strains. This study was aimed to reveal the effect of the *L. paracasei subsp. tolerans*, *L. parabrevis*, and *L. curvatus* isolates, used as co-culture, on the textural property, rheological property, and micro-structure of yogurt. According to the results, it was observed that the *L. paracasei subsp. tolerans* NOC-122 strain increases the water holding capacity and transforms the product into a more fluid form. On the other hand, the *L. parabrevis* NOC-111, and the *L. curvatus* NOC-110 strains caused higher viscosity values. As for texture profiles, the sample coagulated with NOC-122 isolate was softer than those coagulated by other strains. The samples coagulated with the NOC-122 and NOC-110 isolates showed lower chewiness than that coagulated by other strain. Gumminess and springiness showed a similar variable trend to that of chewiness. These results showed the effects of the biotechnological similarities of the strains on the texture, rheology and microstructure.

LACTICASEIBACILLUS PARACASEI SUBSP. TOLERANS, LEVILACTOBACILLUS PARABREVIS VE LATILACTOBACILLUS CURVATUS SUŞLARININ SÜT TEMELLİ FERMENTE ÜRÜNLERDE TEKSTÜR, REOLOJİ VE MİKROYAPI ÜZERİNE ETKİLERİ

Anahtar Kelimeler

Lacticaseibacillus Paracasei
Subsp. Tolerans,
Levilactobacillus Parabrevis,
Latilactobacillus Curvatus,
Tekstür,
Reoloji,
Mikroyapı.

Öz

Fonksiyonel mikroorganizmalar ve/veya onların metabolitleri, gıdaların sağlık açısından avantajlarını, tekstürel özelliklerini ve duyu kalitelerini tüketici açısından etkileyebilecek çok önemli faktörlerdir. Bu özelliklerle ilgili bilimsel çalışmalar vardır, ancak en iyi fonksiyonunu elde etmek için öncelikle spesifik suşların araştırılması gerekir. Bu çalışma, *Lacticaseibacillus paracasei subsp. tolerans*, *Levilactobacillus parabrevis* ve *Latilactobacillus curvatus* türlerine ait izolatların yoğurdun tekstürel ve reolojik özellikleri ve ilaven mikro yapısı üzerine etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Sonuçlara göre *L. paracasei subsp. tolerans* NOC-122 su tutma kapasitesini arttırmış ve ürünü daha akışkan hale dönüştürmüştür. *L. parabrevis* NOC-111 ve *L. curvatus* NOC-110 suşları ise daha yüksek viskoziteye neden olmuştur. Tekstür özelliklerinde, NOC-122 suşu ile pıhtılaştırılan örnek, diğerlerinden daha yumuşaktı. NOC-122 ve NOC-110 suşları ile pıhtılaştırılan numuneler, diğer suş tarafından pıhtılaştırılandan daha düşük çiğneme gösterdi. Yapışkanlık ve esneklik, çiğneme eğilimine benzer bir değişken eğilim göstermiştir. Bu sonuçlar, söz konusu suşların yoğurttaki biyoteknolojik olarak benzerliklerinin tekstür, reoloji ve mikroyapısı üzerindeki etkilerini göstermiştir.

Alıntı / Cite

Özdemir, N., (2023). Impact of *Lacticaseibacillus Paracasei Subsp. Tolerans*, *Levilactobacillus Parabrevis* and *Latilactobacillus Curvatus* Strains on Texture, Rheology and Microstructure of Dairy-Based Fermented Product, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 11(1), 33-40.

*İlgili yazar / Corresponding author: nilgunozdemir@omu.edu.tr, +90-362-312-1919-(1499)

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
N. Özdemir, 0000-0002-4517-9214	Başvuru Tarihi / Submission Date	04.04.2022
	Revizyon Tarihi / Revision Date	27.08.2022
	Kabul Tarihi / Accepted Date	27.08.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

IMPACT OF LACTICASEIBACILLUS PARACASEI SUBSP. TOLERANS, LEVILACTOBACILLUS PARABREVIS AND LATILACTOBACILLUS CURVATUS STRAINS ON TEXTURE, RHEOLOGY AND MICROSTRUCTURE OF DAIRY-BASED FERMENTED PRODUCT

Nilgün OZDEMİR†

Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Samsun, Turkey

Highlights

- *L. paracasei subsp. tolerans* NOC-122 strain increases the water holding capacity
- *L. parabrevis* NOC-111, and *L. curvatus* NOC-110 strains causes high viscosity values
- *L. paracasei subsp. tolerans* NOC-122 and *L. curvatus* NOC-110 isolates show low chewiness

Graphical Abstract

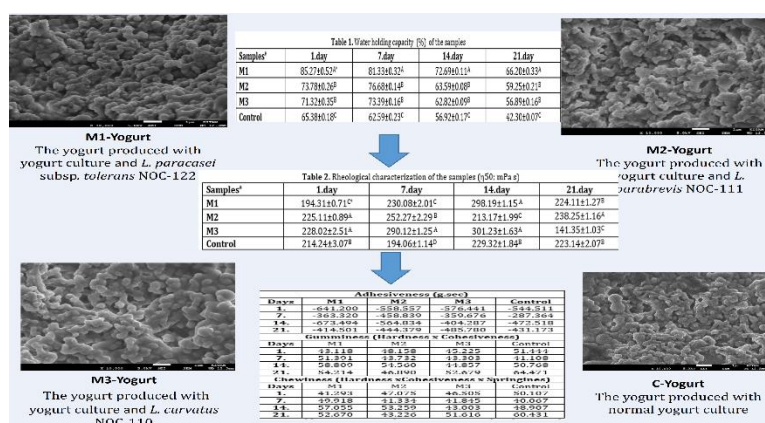


Figure. Graphical Abstract

Purpose and Scope

This study was aimed to reveal the effect of the *L. paracasei subsp. tolerans*, *L. parabrevis*, and *L. curvatus* isolates, used as co-culture, on the textural property, rheological property, and micro-structure of yogurt.

Design/methodology/approach

In this study, the mentioned strains were used individually as co-cultures. The effect of the strains on the texture, microstructure and sensory properties of products such as yoghurt has been demonstrated.

Findings

These results showed the effects of the mentioned strains on the texture, rheology and microstructure of biotechnologically similar samples to yogurt.

Research limitations/implications

Although the individual examination of the strains mentioned in this study on a dairy product has improved the use of the strains, it is quite difficult to relate their biochemical pathways and the primary and secondary metabolite products produced.

Practical implications

This study revealed that functional lactic acid bacteria strains can be used in product development in practice. In addition, it has shown that solutions to sectoral problems can be found with functional strains instead of additives.

† Corresponding author: nilgunozdemir@omu.edu.tr, +90-362-312-1919-(1499)

Social Implications

With this study, a natural way to be used instead of additives in dairy products (especially yogurt, etc.) is proposed. This is a safe development in terms of public health.

Originality

There are scientific studies on these properties, however, in order to achieve the best function of a functional strain, it firstly need to find the specific strains. This reveals the originality of the article in co-culture examination of the mentioned strains for these characteristics.

1. Introduction

Functional microorganisms is an important component of many systems such as food products. It is important to lay a solid theoretical and scientific foundation for understanding the behaviors and functions of these microorganisms and utilizing and expanding of microbial resources (Liu et al., 2021). Functional microorganisms belong to the lactic acid bacteria (LAB) group, which is mostly isolated from fermented foods in terms of foods (Florou-Paneri et al., 2013). The ability of LAB to produce various metabolites such as lactic acid, acetic acid, ethanol, aroma compounds, bacteriocins, fungicides, antioxidants, antibiotic agents, vitamins, bioactive peptides, exopolysaccharides or enzymes, and additionally to have probiotic culture and/or starter culture properties, are important factors that add functionality (Raj et al., 2022). There are scientific studies on these properties, however, in order to achieve the best function of strain, it firstly need to find the specific strains.

Recently, the researchers who studying the functional properties of microorganisms, have focused more to the LAB and/or their metabolites that are responsible for maintaining or improving the textural structure, water-holding capacity, rheological properties of the product (Sharma et al., 2021). In a study (Yan et al., 2020), it was determined a significant difference in the textural characteristics of tofu bricks coagulated with different strains. *Lactobacillus delbrueckii* L1 strain caused tofu hardness. Also, this strain caused the highest level of brittleness, but lowest level of springiness and chewiness. In another study (Olojede et al., 2020), *Pediococcus pentosaceus* LD7 fermented sourdough had the highest storage modulus (G') (3.07Pa) and loss modulus (G'') (6.23Pa). This strain, exhibited the most significant effect on the rheological properties of the sourdough. Besides, in a study, also (Zhang et al., 2014), *Streptococcus thermophilus* showed significantly higher value than that of *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* in all level of texture measurements.

The effect of LABs on the rheological properties and textural structures of foods is related to the properties of some LAB species, such as their ability to secrete extracellular polysaccharides (EPS), their lipolytic activities, proteolytic activities, and their ability to degrade gluten and/or starch (Zhang et al., 2014, Walter et al., 2014; Goswami et al. 2019; Ahsan et al., 2021).

In this study, the texture, rheology and micro-structures of the samples produced in the same way, which had been not analyzed in the mentioned study, were examined. It was aimed to reveal the effects of *Lacticaseibacillus paracasei subsp. tolerans* NOC-122, *Levilactobacillus parabrevis* NOC-111, and *Latilactobacillus curvatus* NOC-110 isolates on these properties.

2. Material and Method

In a previous project by us (Ozdemir, 2019), three LAB strains; the *Lacticaseibacillus paracasei subsp. tolerans* NOC-122, *Levilactobacillus parabrevis* NOC-111, and *Latilactobacillus curvatus* NOC-110 strains, isolated from artisanal goat-tulum chees samples, and subsequently identified were used as co-cultures in dairy-based products. In this study, three set type yogurt samples, in which the above-mentioned LAB strains; the NOC-122, NOC-111, and NOC-110 strains, were used as material. The sample produced using only yogurt culture (it contain *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* ve *Streptococcus thermophilus* strains and obtained from Chr. Hansen, Charlottenlund, Denmark) was considered as a control. The yogurt sample were produced both using the yogurt culture, and the selected isolates as co-culture. Cow's milk whose dry matter was adjusted to 15% with skim-milk was homogenized for 5 min., and then heat treatment was applied at 95°C for 15 min. The yogurt culture (2%) and active cultures of the aforementioned isolates (10^8 log CFU/mL in product) were added to the milk cooled to inoculation temperature (42°C). After inoculation (at 42°C up to about pH 4.6), they were stored at +4°C. The *Lacticaseibacillus paracasei subsp. tolerans* NOC-122 for M1 sample, the *Levilactobacillus parabrevis* NOC-111 for M2 sample, and the *Latilactobacillus curvatus* NOC-110 isolate for M3 sample were used as co-cultures.

2.1. Water-Holding Capacity Analysis

Briefly, 15 g of fermented sample was centrifuged at 3300 x g, 4 °C for 10 min. The whey expelled (WE) was removed and weighed. All experiments were repeated three times. The WHC expressed in % was defined as: $WHC (\%) = (a1/a2) \times 100$. where a1 is the mass of precipitate after centrifugation (g) and a2 is the mass of the sample (g) (Doleyres et al., 2005).

2.2. Rheology and Texture Analysis

Viscosity values of the samples (100 g) will be determined by using the Brookfield Rotational Rheometer (DV-II Pro LV, USA) device at 4 °C 100 rpm with spindle DV-4. Viscosity value will be recorded at 30 seconds. Care will be taken to preserve the torque value in the range of 10%-100% (Ozdemir et al., 2015).

Texture Analyzer (TA-XT plus, Stable Micro Systems) was used for the texture analysis of the samples. The A P/1.5 probe was used to determine the texture profile of the samples. 50 g of sample (+4°C) was taken into 100 mL containers and compressed 20mm with a disc probe. The probe was applied at a speed of 1 mm.s⁻¹. Parameters giving information about the textural properties of the samples were obtained from the force-time graphs using Nexygen 2.0 (Lloyd, UK) software (Shiby and Mishra, 2008; Özçelik et al., 2022).

2.3. Scanning Electron Microscopy (SEM) Analysis

Briefly, 10 g of sample was freeze dried. Then, powder samples with a maximum of 1 cm³ particles were placed on a 1 cm² aluminum sample holder. The samples were coated with a 15 nm gold palladium layer with a cathodic coater, followed by observation in a scanning electron microscope (SEM, FEI, Quanta 600 F, USA) operating at 10 kV voltage. Photomicrographs were recorded under magnification of 100 to 5000 X. Structural differences in magnified images will be evaluated (Prasanna et al. 2013; Pang et al., 2008).

2.4. Statistical Analysis

Results are given as mean values±standard error (SE). Variability was determined by whether the means within groups (within-groups variability) and between group variables (between- groups variability) were different, and statistical significance was analyzed by Anova using SPSS (Statistics 22 software, IBM, USA) program. The Duncan multiple comparison test was used for comparisons and results with a significance level of P<0.05 were indicated as significant.

3. Result and Discussion

3.1. Effect of the *L. paracasei* subsp. *tolerans* NOC-122, *L. parabrevis* NOC-111, and *L. curvatus* NOC-110 Strains on Water Holding Capacity

Water holding capacity is an important concept for milk-based samples. Observation of phase separation in samples creates a negative effect for consumers. When the water holding capacity of the analyzed samples was examined, it was determined that the highest capacity belonged to the M1 sample (Table 1). This was due to the ability of NOC-122 isolate to produce EPS (not shown in this study). It is considered that it is quite appropriate to use *L. paracasei* subsp. *tolerans* NOC-122 isolate as an auxiliary culture in the production of milk-based fermented products that best preserve their own structure. In a study, soy protein gel acidified with *Lactobacillus casei* showed the high water holding capacity with 84.58% than glucono-δ-lactone and organic acid (Yang et al., 2021). As given Table 1, The NOC-122 strain showed a value with 85.27% which close to this strain. In other study, it was investigated that effect of EPS, produced by *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, on the texture and microstructure of buffalo yogurt

Table 1. Water holding capacity (%) of the samples

Samples*	1.day	7.day	14.day	21.day
M1	85.27±0.52 ^{A*}	81.33±0.32 ^A	72.69±0.11 ^A	66.20±0.33 ^A
M2	73.78±0.26 ^B	76.68±0.14 ^B	63.59±0.08 ^B	59.25±0.21 ^B
M3	71.32±0.35 ^B	73.39±0.16 ^B	62.82±0.09 ^B	56.89±0.16 ^B
Control	65.38±0.18 ^C	62.59±0.23 ^C	56.92±0.17 ^C	42.30±0.07 ^C

*M1: It was produced using isolate the *L. paracasei* subsp. *tolerans* NOC-122 in addition to yogurt culture. M2: It was produced using isolate the *L. parabrevis* NOC-111 in addition to yogurt culture. M3: It was produced using isolate the *L. curvatus* NOC-110 in addition to yogurt culture. A-D: values followed by the different letters (A, B, C, D, E) are significantly different by Duncan's multiple range test in each column for each day (P< 0.05).

3.2. Effect of the *L. paracasei* subsp. *tolerans* NOC-122, *L. parabrevis* NOC-111, and *L. curvatus* NOC-110 Strains on Rheological Property

Although the microstructural and rheological properties of the yogurt gel are dependent on the protein concentration and the enthalpic/entropic balance of the interprotein bonds, the size and shape of the protein particles and the distribution of the protein attachment points in the gel are also of great importance. By rheological definition, yogurt is a non-Newtonian viscoelastic liquid and shows a flowing property with time. Yogurt gel, which contains viscous and elastic characters together, shows a typical weak viscoelastic gel structure. To characterize the physical properties of a viscoelastic gel, both viscous and elastic characteristics must be measured. According to these results, the effect of the viscosity of the *L. parabrevis* NOC-111 and *L. curvatus* NOC-110 strains were higher than the other (Table 2). Some studies were determined that the viscosity of the yogurts decreased with increasing EPS (Yang et al., 2014). Also, the proteolytic activities of LAB strains is important in their viscosity efficiency. In a study, it was determined that *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 2501 and 2515 strains which have proteolytic activity decreased the viscosity of yogurt (Shihata and Shah, 2002). In other study, *L. delbrueckii* SB25 strains with higher proteolytic activities provide more secondary and superficial viscosities (Zhang 2014). Viscosity at shear rate of 50 s⁻¹ has been suggested to have a good correlation with perceived thickness, stickiness and sliminess for a wide range of food products from Newtonian fluid to thick emulsion (Nguyen et al., 2017).

Table 2. Rheological characterization of the samples (η_{50} ; mPa s)

Samples*	1.day	7.day	14.day	21.day
M1	194.31±0.71 ^{C*}	230.08±2.01 ^C	298.19±1.15 ^A	224.11±1.27 ^B
M2	225.11±0.89 ^A	252.27±2.29 ^B	213.17±1.99 ^C	238.25±1.16 ^A
M3	228.02±2.51 ^A	290.12±1.25 ^A	301.23±1.63 ^A	141.35±1.03 ^C
Control	214.24±3.07 ^B	194.06±1.14 ^D	229.32±1.84 ^B	223.14±2.07 ^B

*M1: It was produced using isolate the *L. paracasei* subsp. *tolerans* NOC-122 in addition to yogurt culture. M2: It was produced using isolate the *L. parabrevis* NOC-111 in addition to yogurt culture. M3: It was produced using isolate the *L. curvatus* NOC-110 in addition to yogurt culture. A-D: values followed by the different letters (A, B, C, D, E) are significantly different by Duncan's multiple range test in each column for each day (P< 0.05).

3.3. Effect of the *L. paracasei* subsp. *tolerans* NOC-122, *L. parabrevis* NOC-111, and *L. curvatus* NOC-110 Strains on Textural Property

In the present study, the texture profile analysis of the samples showed a significant difference between the hardness at the first and second compression as well as the area, adhesiveness, chewiness, and gumminess of the samples (P<0.05) (Table 3). Gel hardness is likely associated with the acidification rate: hardness decreased with increasing acidification rate, because less time was available for the formation and arrangement of bonds between the proteins (Yang et al., 2021). This was associated with the NOC-122 strain having a fast milk coagulation rate and having the lowest hardness value. Low firmness (hardness) could result from the poor curd or high proteolysis, of yogurt. Also, the high molecular mass EPS, like the NOC-122 strain, have (in terms of water binding) the ability to decrease syneresis and strengthen the hardness of the casein network by interacting with other milk constituents (Yang et al., 2014).

Cohesiveness, an indicator of the strength of the internal gel bonds, the results suggested that gels were generally weak. In a study (Olojede et al., 2020), *Pediococcus pentosaceus* SA, *Weissella confusa* SD, and *P. pentosaceus* LD starter cultures, increased the cohesiveness, springiness, gumminess and chewiness of the breads. In the present study, the sample coagulated with strain NOC-122 was softer than those coagulated by other strains. The samples coagulated with strains NOC-122 and NOC-110 showed lower chewiness than that coagulated by other strain. Gumminess and springiness showed a similar variable trend to that of chewines.

Table 3. Instrumental texture profile (TPA) of the sample fermented with the *L. paracasei subsp. tolerans*, *L. parabrevis*, and *L. curvatus* strains

Samples*	Hardness (g)				Adhesiveness (g.sec)					
	Days	M1	M2	M3	Control	Days	M1	M2	M3	Control
1.	114.668	122.03	129.947	135.226		1.	-641.200	-558.557	-576.441	-544.511
7.	139.463	110.084	117.168	114.182		7.	-363.320	-458.839	-359.676	-287.364
14.	149.186	155.298	124.738	133.073		14.	-673.494	-564.834	-404.287	-472.518
21.	146.894	134.74	144.185	166.966		21.	-414.501	-444.379	-485.780	-431.173
Cohesiveness					Gumminess (Hardness x Cohesiveness)					
Days	M1	M2	M3	Control	Days	M1	M2	M3	Control	
1.	0.376	0.395	0.371	0.380	1.	43.118	48.158	45.225	51.444	
7.	0.368	0.397	0.370	0.360	7.	51.391	43.732	43.303	41.108	
14.	0.394	0.351	0.360	0.382	14.	58.809	54.560	44.857	50.768	
21.	0.369	0.348	0.365	0.386	21.	54.214	46.890	52.679	64.471	
Springiness					Chewiness (Hardness x Cohesiveness x Springiness)					
Days	M1	M2	M3	Control	Days	M1	M2	M3	Control	
1.	0.958	0.978	0.964	0.974	1.	41.293	47.075	46.505	50.107	
7.	0.971	0.945	0.966	0.975	7.	49.918	41.334	41.845	40.067	
14.	0.970	0.976	0.959	0.963	14.	57.055	53.259	43.003	48.907	
21.	0.972	0.922	0.980	0.937	21.	52.670	43.226	51.616	60.431	

*M1: It was produced using isolate the *L. paracasei subsp. tolerans* NOC-122 in addition to yogurt culture. M2: It was produced using isolate the *L. parabrevis* NOC-111 in addition to yogurt culture. M3: It was produced using isolate the *L. curvatus* NOC-110 in addition to yogurt culture

3.4. Effect of the *L. paracasei subsp. tolerans* NOC-122, *L. parabrevis* NOC-111, and *L. curvatus* NOC-110 Strains on Microstructure

SEM micrographs (x 10.000) of pre-prepared yogurt samples are shown in Figure 1. Micrographs show differences in gel structures such as the compactness of the three-dimensional casein micelles and the network of pore sizes. Significant differences are observed between samples. Larger pores and less cross-linking between casein micelles explain the reduced stiffness. Like this; a *L. paracasei subsp. tolerance* isolate reduces the stress in the yogurt. More densely packed casein networks in micrographs of stored yogurts can be seen in yogurt samples at day 21 compared to day 1, supporting structural rearrangements during storage, resulting in higher depreciation, shear stress, and storage modulus at the end of storage. In a study, it was determined that the average particle size of soy protein gel acidified with a *Lactobacillus casei* isolate was the largest (Yang et al., 2021).

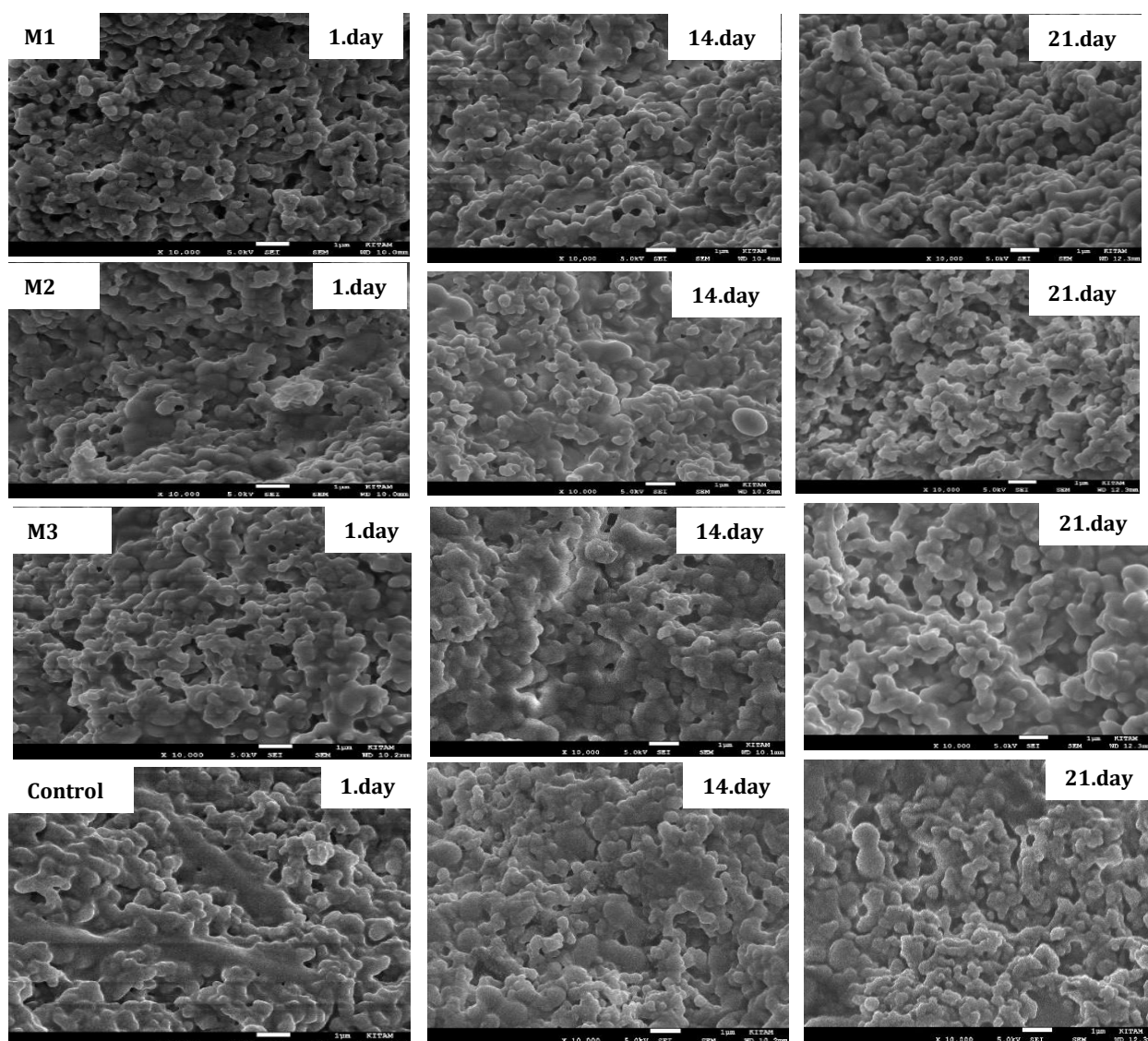


Figure 1. SEM image of samples (10.000X)

*M1: It was produced using isolate the *L. paracasei subsp. tolerans* NOC-122 in addition to yogurt culture. M2: It was produced using isolate the *L. parabrevis* NOC-111 in addition to yogurt culture. M3: It was produced using isolate the *L. curvatus* NOC-110 in addition to yogurt culture

4. Conclusion

In this study, it was observed that the *L. paracasei subsp. tolerans* NOC-122 strain increases the water holding capacity and transforms the product into a more fluid form. On the other hand, the *L. parabrevis* NOC-111, and *L. curvatus* NOC-110 strains caused higher viscosity values. As for texture profiles, the sample coagulated with the NOC-122 strain was softer than those coagulated by other strains. The samples coagulated with the NOC-122 and NOC-110 strains showed lower chewiness than that coagulated by other strain. Gumminess and springiness showed a similar variable trend to that of chewiness. These results showed the effects of the mentioned strains on the texture, rheology and microstructure of biotechnologically similar samples in yogurt.

Acknowledgement

This study was supported by Ondokuz Mayıs University, Scientific Research Projects Unit (Project No. PYO.MUH.1901.17.004). The summary of this present study was presented at the "2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, March 10-13, 2022, Konya/Turkey" congress.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Abarquero, D., Renes, E., Fresno, J.M., Tornadijo, M.E., 2022. Study of exopolysaccharides from lactic acid bacteria and their industrial applications: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(1), 16-26.
- Ahsan, S., Khaliq, A., Chughtai, M.F.J., Nadeem, M., Din, A.A., Hlebová, M., ... Shariat, M.A., 2021. Functional exploration of bioactive moieties of fermented and non-fermented soymilk with reference to nutritional attributes. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 2021, 145-149.
- Chand, P., Kumar, M.D., Singh, A.K., Deshwal, G.K., Rao, P.S., Tomar, S.K., Sharma, H., 2021. Low-calorie synbiotic yogurt from indigenous probiotic culture and combination of inulin and oligofructose: Improved sensory, rheological, and textural attributes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(4), e15322. doi: 10.1111/jfpp.15322.
- Doleyres, Y., Schaub, L., Lacroix, C., 2005. Comparison of the functionality of exopolysaccharides produced in situ or added as bioingredients on yogurt properties. *Journal of Dairy Science*, 88(12), 4146-4156.
- Florou-Paneri, P., Christaki, E., Bonos, E., 2013. Lactic acid bacteria as source of functional ingredients. In *Lactic acid bacteria- R & D for food, health and livestock purposes*. IntechOpen.
- Han, X., Yang, Z., Jing, X., Yu, P., Zhang, Y., Yi, H., Zhang, L., 2016. Improvement of the texture of yogurt by use of exopolysaccharide producing lactic acid bacteria. *BioMed research international*, 2016.
- Li, C., Li, W., Chen, X., Feng, M., Rui, X., Jiang, M., Dong, M., 2014. Microbiological, physicochemical and rheological properties of fermented soymilk produced with exopolysaccharide (EPS) producing lactic acid bacteria strains. *LWT-Food Science and Technology*, 57(2), 477-485.
- Liu, C., Chen, L., He, Z., Zhang, Z., Xu, Y., Li, Z., ...Chen, Y. 2021. Integration and potential application ability of culturable functional microorganism in oil tea *Camellia*. *Indian Journal of Microbiology*, 61(1), 1-9.
- Madhubasani, G.B.L., Prasanna, P.H.P., Chandrasekara, A., Gunasekara, D.C.S., Senadeera, P., Chandramali, D.V.P., Vidanarachchi, J.K., 2020. Exopolysaccharide producing starter cultures positively influence on microbiological, physicochemical, and sensory properties of probiotic goats' milk set-yogurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(3), e14361.
- Morell, P., Fiszman, S.M., Varela, P., Hernando, I., 2014. Hydrocolloids for enhancing satiety: Relating oral digestion to rheology, structure and sensory perception. *Food Hydrocolloids*, 41, 343-353.
- Nguyen, P.T., Kravchuk, O., Bhandari, B., Prakash, S. 2017. Effect of different hydrocolloids on texture, rheology, tribology and sensory perception of texture and mouthfeel of low-fat pot-set yogurt. *Food Hydrocolloids*, 72, 90-104.
- Obatolu, V.A., 2008. Effect of different coagulants on yield and quality of tofu from soymilk. *European Food Research and Technology*, 226(3), 467-472.
- Olojede, A.O., Sanni, A.I., Banwo, K., 2020. Rheological, textural and nutritional properties of gluten-free sourdough made with functionally important lactic acid bacteria and yeast from Nigerian sorghum. *LWT*, 120, 108875.
- Özçelik, M.M., Duman, B., Özkan, G. 2022. Organik pekmezlerden jeli şeker üretimi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(2), 371-379.
- Özdemir, N., 2019. Yoğurdun aroma ve tekstür profili üzerine bazı teknolojik ve fonksiyonel özelliklere sahip laktik asit bakterilerinin etkisi Ondokuz Mayıs University, Scientific Research Projects Unit (Project No. PYO.MUH. 1901.17.004)
- Özdemir, N., Kök-Taş, T., Guzel-Seydim, Z., 2015. Effect of *Gluconacetobacter* spp. on Kefir grains and Kefir Quality. *Food Science and Biotechnology*, 24(1), 99-106.
- Pang, K.L., Chiang, M.W., Vrijmoed, L.L., 2008. *Havispora longyearbyensis* gen. et sp. nov.: an Arctic marine fungus from Svalbard, Norway. *Mycologia*, 100(2), 291-295.
- Prasanna, P.H.P., Grandison, A.S., Charalampopoulos, D., 2013. Microbiological, chemical and rheological properties of low fat set yogurt produced with exopolysaccharide (EPS) producing *Bifidobacterium* strains. *Food Research International*, 51(1), 15-22.
- Raj, T., Chandrasekhar, K., Kumar, A.N., Kim, S.H., 2021. Recent biotechnological trends in lactic acid bacterial fermentation for food processing industries. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 1-27.
- Sharma, H., Ozogul, F., Bartkiene, E., Rocha, J.M., 2021. Impact of lactic acid bacteria and their metabolites on the techno-functional properties and health benefits of fermented dairy products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-23.
- Shiby, V.K., Mishra, H.N., 2008. Modelling of acidification kinetics and textural properties in dahi (Indian yogurt) made from buffalo milk using response surface methodology. *International Journal of Dairy Technology*, 61, 284-289.
- Shihata, A., Shah, N.P., 2002. Influence of addition of proteolytic strains of *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* to commercial ABT starter cultures on texture of yogurt, exopolysaccharide production and survival of bacteria. *International Dairy Journal*, 12(9), 765-772.
- Wolter, A., Hager, A. S., Zannini, E., Galle, S., Gänzle, M.G., Waters, D.M., Arendt, E.K., 2014. Evaluation of exopolysaccharide producing *Weissella cibaria* MG1 strain for the production of sourdough from various flours. *Food microbiology*, 37, 44-50.
- Yan, S., Liu, H., Zhang, J., Tong, Q., 2020. *Lactobacillus delbrueckii* is the key functional microorganism of natural fermented tofu sour water involved in the traditional coagulation of Chinese Huizhou Mao-tofu. *LWT-Food Science and Technology*, 131, 109706.
- Yang, T., Wu, K., Wang, F., Liang, X., Liu, Q., Li, G., Li, Q., 2014. Effect of exopolysaccharides from lactic acid bacteria on the texture and microstructure of buffalo yogurt. *International Dairy Journal*, 34(2), 252-256.
- Yang, X., Ren, Y., Liu, H., Huo, C., Li, L. 2021. Differences in the physicochemical, digestion and microstructural characteristics of soy protein gel acidified with lactic acid bacteria, glucono- δ -lactone and organic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 185, 462-470.
- Zhang, S., Zhang, L., Jiao, Y., Luo, X., Li, H., Xin, L., ... Ma, C., 2014. Technological characterization of lactic acid bacteria protease isolated from traditional chinese fermented milk. *Journal of Food Quality*, 37(6), 395-402.



FARKLI FONKSİYONEL HAMMADDELERDEN ÜRETİLEN SOĞUKTAN KORUYUCU GİYSİLERİN ISI YALITIM VE SIVI TRANSFER ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Sultan ARAS ELİBÜYÜK *, Mustafa ÇÖREKÇİOĞLU, Asil YILMAZ, Fatma Filiz YILDIRIM, Perinur KOPTUR TASAN, Özlem DEMİR

Ozanteks Tekstil San. ve Tic. A.Ş. Ar-GE Merkezi, Bozburun Mah. 7042 Sok. No.6, Merkezefendi, Denizli, Türkiye

Anahtar Kelimeler Öz

*Dikişsiz Örmeye,
Isıl Yalıtım,
MMT,
Alambeta,
Termoregülasyon.*

Giysilerde estetik ve moda uygunluğu yanı sıra, performans ve konfor özellikleri gibi önemli özellikler aranmaktadır. Giysilerin ısı konfor sağlaması için, soğuğa karşı yüksek ısı dirence sahip olması gerekmektedir. Çalışma kapsamında, seamless makinelerde termofizyolojik konfor özellikleri iyileştirilmiş içlikler, çevre dostu ürünler olarak geliştirilmiştir. Çeşitli çevre koşullarında yüksek ısı yalıtımı isteyen kişilerin kullanabileceği özellikler taşıması için çalışmalar yapılmıştır. Termal ısı konforu etkileyebilecek üretim parametrelerini dikkate alarak üretimi gerçekleşen yün, NILIT-heat, polyester (PES), polipropilen (PA) ve özel fonksiyonel ipliklerle kombine edilmiş 10 adet numune üretilmiştir. Çalışmada, ısı dirence sahip farklı yapıdaki termal kumaş türlerinin, ısı direnç (Alambeta Parametreleri) ve MMT parametreleri incelenmiştir ve çok kriterli analiz sonucunda ise termal fonksiyonel özellikleri barındıran numuneler seçilmiştir. Isıl yalıtımın sağlanması için numunelerde daha çok yün, termal izolasyonlu özel ipliklerin özellikle PES ile kombinasyonu önerilirken, su buharı geçirgenliği beklenen bölgelerde ise; PES, PA ve yün kombinasyonlarının kullanımı uygun bulunmuştur.

INVESTIGATION OF THE THERMAL INSULATION AND LIQUID TRANSFER PROPERTIES OF COLD PROTECTIVE CLOTHES PRODUCED FROM DIFFERENT FUNCTIONAL RAW MATERIALS

Keywords

*Seamless Knitting,
Thermal Insulation,
MMT,
Alambeta,
Thermoregulation.*

Abstract

In addition to aesthetics and fashion, important features such as performance and comfort are sought in clothes. In order for clothes to provide thermal comfort, they must have high thermal resistance to cold. Within the scope of the study, underwear with improved thermo physiological comfort properties were developed as environmentally friendly products in seamless machines. Studies have been carried out to ensure that people who want high thermal insulation in various environmental conditions can use it. Taking into account the production parameters that may affect the thermal comfort, 10 samples were produced, which were combined with wool, NILIT-heat, polyester (PES), polypropylene (PA) and special functional yarns. In the study, thermal resistance (Alambeta Parameters) and MMT parameters of different types of thermal fabrics with thermal resistance were examined and samples with thermal functional properties were selected as a result of multi-criteria analysis. In order to provide thermal insulation, it is recommended to combine mostly wool and thermally insulated special yarns with PES, while in areas where water vapor permeability is expected; The use of PES, PA and wool combinations has been found suitable.

Alıntı / Cite

Elibüyük Aras, S., Çörekçioğlu, M., Yılmaz, A., Yıldırım, F. F., Tasan Koptur, P., Demir, Ö., (2023). Farklı Fonksiyonel Hammaddelerden Üretilen Soğuktan Koruyucu Giysilerin Isı Yalıtım ve Sıvı Transfer Özelliklerinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 41-56.

* İlgili yazar / Corresponding author: saras@ozanteks.com.tr, +90-258-371-6400 (2563)

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
S. Aras Elibüyük / 0000-0002-1866-6332	Başvuru Tarihi / Submission Date	04.02.2022
M. Çörekcioglu / 0000-0001-7976-6049	Revizyon Tarihi / Revision Date	31.07.2022
A. Yılmaz / 0000-0003-1778-5249	Kabul Tarihi / Accepted Date	09.09.2022
F. F. Yıldırım / 0000-0003-3490-8538	Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023
P. Koptur Tasan / 0000-0001-9052-1763		
Ö. Demir / 0000-0003-1505-2164		

INVESTIGATION OF THE THERMAL INSULATION AND LIQUID TRANSFER PROPERTIES OF COLD PROTECTIVE CLOTHES PRODUCED FROM DIFFERENT FUNCTIONAL RAW MATERIALS

Sultan ARAS ELİBÜYÜK †, Mustafa ÇÖREKÇİOĞLU, Asil YILMAZ, Fatma Filiz YILDIRIM, Perinur KOPTUR TASAN, Özlem DEMİR
Ozanteks Tekstil San. ve Tic. A.Ş. Ar-GE Merkezi, Bozburun Mah. 7042 Sok. No.6, Merkezefendi, Denizli, Türkiye

Highlights

- Seamless Knitting is the technology of producing garments in one piece with a circular knitting machine.
- Thermal insulation is achieved by keeping the body temperature of the garment around 36-37 degrees.
- MMT is a fabric liquid absorption and transfer properties measurement (AATCC 195-2012) method.
- Alambeta is a device for measuring the thermal conductivity coefficient of fabrics.
- Thermoregulation is the ability of fabrics to keep body temperature within certain limits, even if the ambient temperature is different.

Graphical Abstract

Considering the purpose of the study, it is aimed to obtain light, thin, moderately thermal insulation, adequate liquid transfer and breathable fabrics. Firstly, the Thermal Resistance ($m^2 K/W$) property was investigated. As a result of the ANOVA analysis performed on the samples, it was determined that the differences between the fabrics were significant at the 95% confidence interval. According to the results of multiple comparisons made in the ANOVA analysis, the boxplot plot is given in Figure 1.

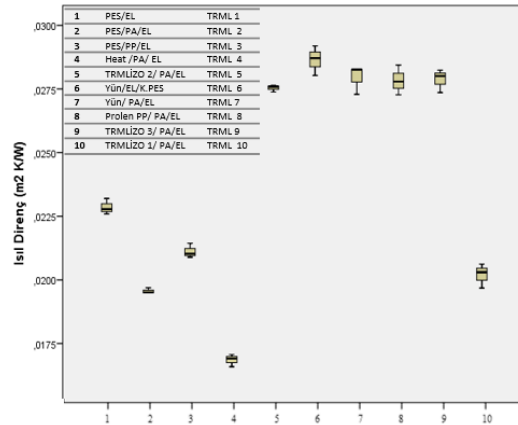


Figure 1. Alambeta thermal resistance test result ($m^2 K/W$) boxplot chart.

Thermal conductivity is a measure of the amount of heat passing through a material at a temperature difference of $1^\circ K$ per unit thickness. It occurs when the two surfaces of the material are exposed to a unit temperature difference. It has an inversely proportional relationship with the thermal resistance results depending on the fabric thickness. In Figure 2, boxplot graph of Alambeta Thermal Conductivity (W/mK) test results is given. When the statistical analysis results are examined, it has been determined that the thermal conductivity values do not have an inverse order with the thermal resistance values.

† Corresponding author: saras@ozanteks.com.tr, +90-258-371-6400 (2563)

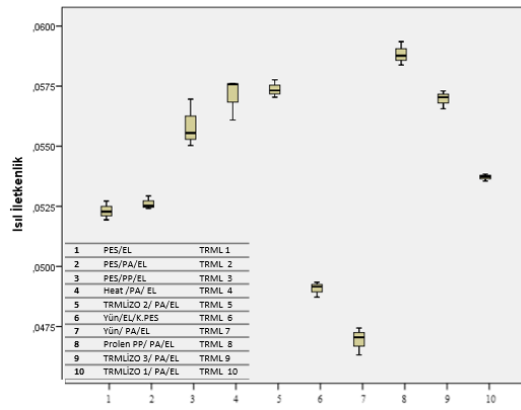


Figure 2. Alambeta Thermal Conductivity (W/mK) test result boxplot chart.

Significant differences in fabric thickness were determined due to small physical differences in yarn properties (stapel/filament, twist coefficient, etc.). Boxplot results for fabric thickness values are shown in Figure 3. Although there are deviations due to thickness (mm) differences, fabrics with wool content with high thermal resistance (6,7) had the lowest thermal conductivity, and TRML 8 fabric with the lowest thermal resistance was also in the group with high conductivity. More detailed comments are made for resistance values, since thermal resistance results are taken into account in the literature, where more thickness is also taken into account. Alambeta thickness (mm) test result boxplot graph is given in Figure 3.

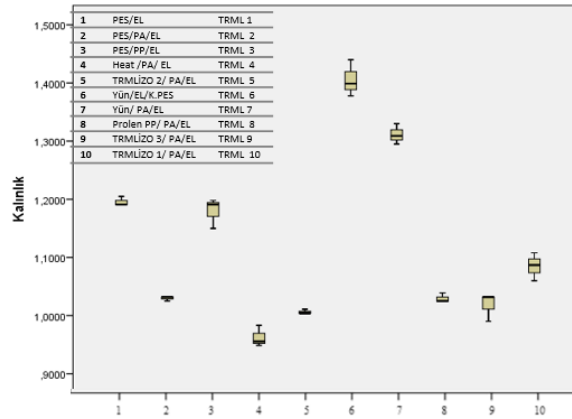


Figure 3. Alambeta thickness (mm) test result boxplot chart.

The degree of thermal absorptivity depends on the difference between the fabric and skin temperatures and the measurement time. This parameter is also related to fabric surface properties, which affect the area of heat transfer between fabric and leather. In previous studies, it was determined that the fiber effect appeared in two fabrics with similar surface properties, but in general, the surface properties of the fabric had a more decisive effect. If the thermal absorptivity value is low, it gives a feeling of warmth, and if it is high, it gives a feeling of coldness. The thermal absorptivity values according to the Alambeta test results are given in Figure 4.

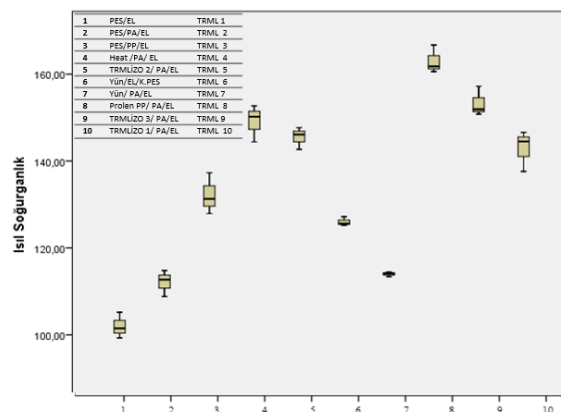


Figure 4. Alambeta Thermal Absorption ($Ws^{1/2} / m^2K$) test result boxplot chart.

As a result of the ANOVA test, a multiple comparison test was carried out to see the difference between the top wetting values of the fabrics that showed a significant difference between them. In Figure 5, the boxplot (box diagram) is given.

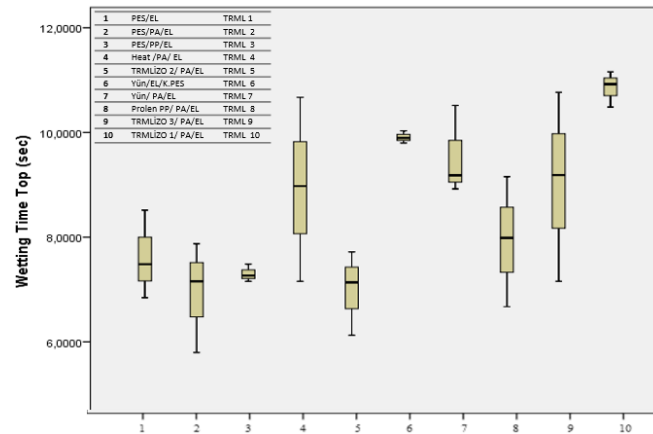


Figure 5. MMT upper wetting values test result boxplot chart.

The MMT upper absorption ratio values of the fabrics, the p value of the ANOVA analysis results were found to be .000. In order to see the difference between the top wetting values of the fabrics that showed a significant difference as a result of the ANOVA test, a multiple comparison test was performed, and a boxplot (box diagram) is given in Figure 6.

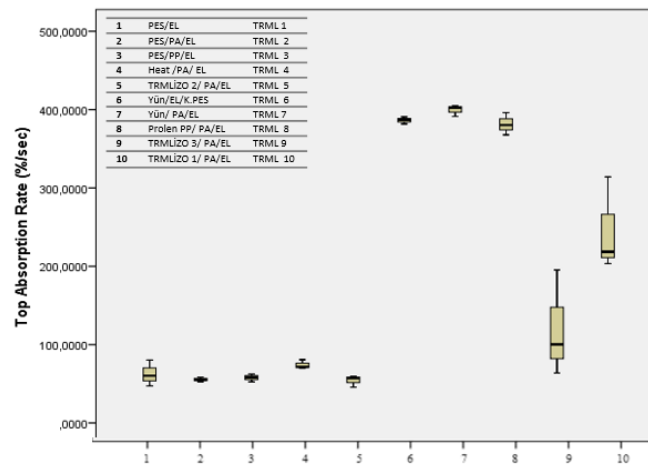


Figure 6. MMT Upper Absorption Rate (%/s) values test results.

In Figure 7, the boxplot of the propagation velocity values is given. In general, differences in propagation rates are considered to be insignificant due to the high variation frequently seen in MMT measurements.

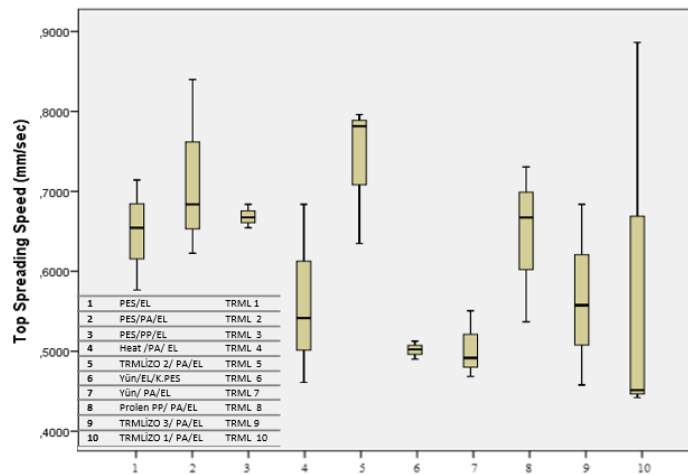


Figure 7. MMT top propagation velocity values test result boxplot chart.

Purpose and Scope

In general, this study was carried out to investigate the thermal comfort, water vapor permeability and liquid transfer properties of different internal/external raw materials with false rib knit.

Design/methodology/approach

In this study, the sensations created by the inner surfaces of the 10 fabrics designed for the tests on the skin in contact with the body were also taken into account. Since the feeling of stiffness created by the stitching is minimized in the samples produced with seamless knitting technology, it is thought that it will provide a more comfortable wearing comfort in active movements depending on the raw material and structure of the fabric. Within the scope of the study, the basic performance parameter values of the fabrics such as Alambeta and MMT were examined and the results of the fabric group were evaluated.

Findings

Within the scope of the study, a new database was obtained with fabrics with different thermal resistance and liquid transfer properties after combining and testing different inner/outer raw materials with false rib knit. It was determined that almost all samples provided thermal resistance conditions, and above-average insulation values were provided especially in the samples selected for the second stage. Liquid transfer tests have also shown that the use of wool on the inside does not provide significant disadvantages in line with customer requests. As a result of all tests, cold protective seamless garments, thermally insulated fabrics with insulation and liquid transfer properties, PES/PES, Heat/PA and TRMLİZO3/PA synthetic material with liquid transfer feature in the inner layer, wool in thermally insulated areas, TRMLİZO, PES combination and outer layer. While yarns such as wool with high moisture absorption ability are used, it has been decided to always use functional yarns inside.

Research limitations/implications

Continuously developing technology directs the development of new fibers. In future studies, new fibers can be researched, internal/external raw materials can be knitted seamlessly with different knitting methods, and their insulation and liquid transfer properties can be tested. Gains from the properties of new fibers can also be added to the literature.

Practical implications

Within the scope of the study, a new database was obtained with fabrics with different thermal resistance and liquid transfer properties after combining and testing different inner/outer raw materials with false rib knit. It was determined that almost all samples provided thermal resistance conditions, and above-average insulation values were provided especially in the samples selected for the second stage. Liquid transfer tests have also shown that the use of wool on the inside does not provide significant disadvantages in line with customer requests. As a result of all tests, cold protective seamless garments, thermally insulated fabrics with insulation and liquid transfer properties, PES/PES, Heat/PA and TRMLİZO3/PA synthetic material with liquid transfer feature in the inner layer, wool in thermally insulated areas, TRMLİZO, PES combination and outer layer. While yarns such as wool with high moisture absorption ability are used, it has been decided to always use functional yarns inside.

Social Implications

Although the results obtained generally do not make a statistical difference between them, it can be stated that the thermally insulated yarns are smoother and the wool has a roughness that may cause discomfort and a comfort zone where it can create a bad feeling during use. In terms of the results, it is thought that a fabric with Nilit Heat®, Prolen PP® or Thermal insulated yarn inner surface and PA and PES outer surface may be suitable as a body-hugging protective underwear or sportswear.

Originality

Patent application has been made with the number of 2021/020715 for the work we have done.

1. Giriş (Introduction)

Müşterilerin giysi talepleri, gelişen teknoloji ve değişen dünya sayesinde farklılaşmıştır. Kullanıcılarda giysinin sadece güzel görünmesi yeterli olmamaktadır. Kumaş ve giysilerden beklentiler kalite, estetik, görünüm ve moda uygunluk olmaktan çıkmıştır. Kullanıcılar arasında giysilerden beklentiler tekstil ve lif pazarında büyük rekabeti artırmıştır. Bununla beraber yeni beklentileri karşılayacak ürünlere yönelik araştırmaları da

hızlandırmıştır. Giyside konfor konusu, yapılan bu inceleme alanları arasında yer almaktadır. Konfor, birçok fiziksel ve psikolojik faktörü içeren karmaşık bir kavramdır ve lif özelliklerinden, kumaş faktörlerinden, insan faktörlerinden ve çevreden etkilenir. Termal konfor ise, kişinin termal koşullarından duyduğu memnuniyet olarak karşımıza çıkar (Marmaralı vd., 2006; Yıldırım vd., 2018). Araştırmalara göre konforun giysi seçimini etkileyen önemli bir özellik olduğu görülmektedir. Wong ve Li (2002); Kaplan ve Okur (2008) ve Dolanbay Doğan (2014).

Konfor hissi mikroklima olarak adlandırılan, vücut ile kıyafet arasında ki hava tabakasıdır (Atasağun, 2016). Mikroklima, çevresel etmenlerden, giysi özelliklerinden, kişinin aktif hareketlerinden etkilenmektedir (Yoo ve Hu, 2000; Öner, 2010; Demir, 2016; Yıldırım, 2018). Giysi özelliklerinde yapılacak tüm değişiklikler mikroklima olarak adlandırılan yapıyı etkileyerek, kişinin konfor durumunu belirleyecektir. Giysilik kumaşın termal konfor denebilmesi açısından aşağıda bulunan üç özelliği bulundurması beklenmektedir. Bunlar:

- Kullanıcıyı soğuktan korunmak için yüksek ısı direnci,
- İklim koşullarının ılgınlığında etkili, ısı transferi için su buharı direncinin düşüklüğü,
- Kullanıcıya verilen giyim sırasında oluşan rahatsızlık hissini engellemesi için ise sıvı taşıma özelliğinin yüksek olması gerekmektedir. (Demir, 2016; Yıldırım 2018).

Konfor literatürde genel olarak ısı, duyuşal, ergonomik ve psikolojik konfor olmak üzere dört farklı bölümde ayrılmıştır.

- Isıl konfor, kumaşta bulunan ısı ve nem transferini sağlayarak istenilen konfor rahatlığına ulaşmadır.
- Duyuşal konfor, tekstil numunesinin ten ile teması sonucu ortaya çıkan algılamalar olarak tanımlanmaktadır.
- Ergonomik konfor, kıyafetin bedene uygunluğu ve aktif hareket özgürlüğüdür. Giysinin, kullanıcının vücut hareketlerini engellememesi, vücut tipine uygun olması ve insanda ikinci bir ten hissi oluşturması vücut hareketi konforunu oluşturur.
- Psikolojik konfor, kullanıcıların ruh hali ile tercihlerinden ve modadan etkilenir (Shishoo, 2005; Li ve Wong, 2006 a ve b; Demir, 2016).

ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) standartlarında ısı konfor, kişinin çevresindeki termal şartlarına karşı hissedilen memnuniyetlilik durumu olarak ifade edilmiştir (Wang, 2002; Kaplan, 2009; Bedek vd., 2011; Öner, 2015; Yıldırım vd., 2018; Aras vd., 2018). Isıl konfor için en önemli etmenler nem transferi ve ısıdır. Bu ısının bir kısmı nefes verme şeklinde atılsa da, geri kalanı deriden giysi yoluyla uzaklaştırılmaya çalışılır. Isı, deri yoluyla kuru olarak transfer edilebileceği gibi terleme ardından buharlaşarak da uzaklaştırılabilir. Isı transferi, kuru olarak gerçekleştirilen vücut ile ortam arasındaki sıcaklık farkı ile gerçekleşir. Aradaki fark arttıkça, ısı akışı da o kadar fazla olmaktadır. Bu ısı akışı ayrıca giysinin ısı yalıtım özelliğine de bağlıdır (Oğlakcioğlu, Marmaralı, 2010; Öndel, ve Mergen, 2009; Kaplan ve Okur 2013; Aras vd., 2018 ve 2019).

1.1. İnsan vücudunun termoregülasyonu (Thermoregulation of the human body)

Bireylerin sağlıklı kalabilmesi için vücut sıcaklığının belirli bir aralıkta korunması ve ısı kaybının hızlı ya da yavaş olmaması gerekir (University of Washington, 2012). Vücudun ısı dengesi, vücut iç sıcaklığı 37,0°C ve deri yüzey sıcaklığı ortalama 31,5-33,5°C arasındadır (Demir, 2016; Aras vd., 2018). Bu sıcaklık herkes için sabit değildir. Gün içerisinde genellikle $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$ olarak değişiklik gösterebilir (Havenith, 2002).

1.2. Soğuktan koruyucu dikişsiz giysilerin geliştirilmesi için kullanılan hammaddeler ve örgü yapıları (Raw materials used for the development of seamless cold-protective clothing and knitting structures)

Yalıtımlı kumaşların veya liflerin sahip olması gereken özelliklerde ilk olarak, soğuğa karşı savunma hattı olan bir taban katman bulunmalıdır. Taban katmanları vücut sıcaklığını düzenlemek için tasarlanmalıdır. İnce bir sıcak hava tabakasını deriye yakın tutmak için sıkıca oturmalıdır. Bu katmanın dayanımı yüksek olmalıdır, hafif olmalıdırlar. Hızlı kuruyabilmelidirlere, yumuşak tutumlu ve esnek olmalıdırlar. Polyester (PES), spor giyim için en yaygın kullanılan malzemedir. Bununla birlikte, Merinos yünü termal yalıtım özellikleri ve nefes alabilirlikleri nedeniyle popülerdir. Merinos yünü, spor kıyafetleri için giderek daha fazla kullanılmaktadır (Gürcüm, 2010). Bu nedenle, birçok açık hava sporcusunun hangi malzemeyi seçeceğinden şüphe edilmektedir. Merinos yünü, doğal antimikrobiyal (Uslu, 2021) olduğu için (çok günlük geziler için çok yararlıdır) orta seviye soğuktan koruyucu giysiler yürüyüş için daha iyi bir seçenektir. Bu tür giysiler süper hafif olabileceğinden polyester ise termal yalıtım sağlamak için tercih edilen malzemedir.

Literatüre baktığımızda daha çok polyester ve yün üzerine yoğunlaşmıştır. İki ipliği de özellik olarak karşılaştıracak olursak;

- Yapılan membran tabakası bakımından orta seviye yalıtımlı giysiler, düşük seviyeli yalıtımlı giysilerden daha kalın örme polyester veya yünlü kumaşlardan yapılıdır. Polyester orta katmanlar genellikle termal olarak çok verimlidirler. Nefes alabilir ve yumuşak kumaş elde edilir ve hafifken iyi sıcaklık sağlar. Yünlü orta katmanlar genellikle oldukça ağırdır (termal olarak verimsiz) ve bu nedenle sporcular ve maceracılar için en iyi seçenek değildir. Çoğu durumda metrekaşe başına 300 gramdan fazladır.
- Yün lifinden mamul kumaşların tutumu ve kaşıntıya sebep olma durumu lif inceliğine bağlıdır. Bu durum liflerin çapına, yani yünün kalitesine de bağlı olmakla birlikte: Çap ne kadar küçükse, kumaş o kadar yumuşak olur. Yüksek kaliteli yünlü kıyafetler çapı 18.5 mikrondan az olan yün liflerden yapılmıştır. Polyester giysiler ise, polyester doğal bir malzeme olmadığından dokunulduğunda sentetik hissi verir. Bu yüzden bazı insanlar polyester tişörtlerden kaçınır ve "erimiş plastik" olarak adlandırır. Bununla birlikte, polyester hala orta katmanlar gibi cilde (termal veriminden dolayı) doğrudan giyilmeyen spor kıyafetleri için değil, aynı zamanda belirli sporlardaki taban katmanları için de (örneğin koşu) tercih edilen malzemedir.
- Dayanıklılık yünlü giysilerin önemli özelliğidir. Bu nedenle koşu gibi yüksek yoğunluklu aktiviteler için yünlü giysiler tercih edilmiştir. Koşmak, kıyafetleri şiddetli aşınmaya maruz bırakır ve yünlü kumaşlar (vücudun teriyle etkileşime geçeceğinden keçeleşir) er ya da geç maruz kalan alanların yırtılmaya başlar bu yüzden polyester ile beraber kullanımı yünü daha dayanıklı yapmaktadır.
- Polyester, yünden daha ince ve daha hafif giysilerle örülebilir. Polyester, yünden (% 33'e kıyasla% 0.4) daha az nem emdiğinden, ter veya çökelti ile ıslanmış durumda ağır olmaz ve bu nedenle daha hızlı kurur.
- Yün iplikleri doğal olarak antimikrobiyal olduğundan mükemmel koku kontrolü sağlar. Polyester ise çok hızlı kokar. Ancak, bazı polyester giysiler (örneğin koku önleyici tekstil işlemleri kullanılır.) bu durumun istisnasıdır. Bununla birlikte, polyester koku önleyici apreler ile işlem görür. Fakat liften gelen özellik olmadığı için antimikrobiyal özelliği sonsuza kadar sürmez. Bu nedenle, polyester iplik seçiminde tüm özellikler göz önünde bulundurulmalıdır.
- Yünlü kıyafetler polyesterden daha sıcak olduğu düşünülmektedir. Fakat bir giysinin sıcaklığı büyük ölçüde kumaş yoğunluğuna (kalınlığına) ve uyumuna bağlıdır. Kalın giysiler ince giysilerden daha sıcaktır, sıkı oturan giysiler ise gevşek olanlardan daha fazla vücut ısısını korur. Yalıtımın orta seviyeli ve özellikli iplik kullanımına bağlı değiştiği gözlemlenmiştir.

Genel olarak bakıldığında günümüze kadar üretilen soğuktan koruyucu ürünlerin; yün, poliamid, polyester liflerinden üretildiği görülmektedir. Günümüzde ise yaygın olarak kullanılan yalıtımlı giysilerin PES/PA ve Yün/PA karışımı oldukları bilinmektedir.

Termal konfor cildin 0,3'ü aşan ıslaklık değerleri veya metabolik hız (yediğimiz besinlerin vücut tarafından enerjiye dönüştürülme kapasitesini gösteren bir parametredir.) ile ilgili bir değer olarak nitelendirilmiştir. Bu nedenle, buharlaşmayı artırmak için yüksek ter üretimi yapılan bölgelerde havalandırmayı en üst düzeye çıkarmak, cildin ıslanmasını en aza indirdiği ve termal konforu arttırdığı belirtilmiştir (Pac vd., 2001).

Başka bir çalışmada ise kumaşta yer alan farklı örme yapılarının (askı ve atlama) kumaşların ısı konfor özelliklerine etkisinin incelenmiştir. Çalışmada, aynı iğne üzerinde tek, çift ve üç askı veya atlama içeren orta sıklıkta örülmüş kumaşlar ile orta sıklıkta örülmüş düz örgü kumaşlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlara baktığımızda, düz dikişsiz örme kumaşların yüksek ısı direnç ve düşük hava geçirgenliği değerlerine sahip olduğu görülmüştür. İncelenen numune giysiler arasında tek atlamalı veya transfer kumaşların düşük ısı direnç ve yüksek hava geçirgenliği özellikleri sayesinde hava sıcaklığının hissedildiği zamanlarda giyilecek giysiler için uygun olduğu düşünülmektedir (Ertekin ve Marmaralı, 2011).

Literatür araştırmalarında ısı konfor ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar, hammadde özellikleri (Oğlakcıoğlu ve Marmaralı, 2010; Özdil vd., 2007), kumaş yapısı (Oğlakcıoğlu ve Marmaralı, 2009); Süpüren vd., (2011); Monastir ve Erdoğan (1993); Oğlakcıoğlu ve Marmaralı (2007); Havenith, (2002)) ve terbiye işlemlerinin (Oğlakcıoğlu ve Özdil (2006), Akçakoca Kumbasar vd., (2011) etkileri incelenmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre: pamuk ipliğinden oluşan giysilerin rejenere selüloz iplik içerikli kumaşlara oranla yüksek ısı direnç ve sıcaklık hissi sağladığını, tencel iplik içerikli kumaşın yüksek su buharı geçirgenliği ve viskon içeren kumaşın yüksek hava geçirgenliği özelliği olduğunu (Oğlakcıoğlu ve Marmaralı, 2009-2010) belirtmişlerdir. Nem iletim özellikleri açısından iç kısmı polipropilen, dış kısmı pamuk olan kumaş yapısının en iyi ısı direnç değerlerine sahip olduğunu (Süpüren vd., 2011); pamuk-Angora ve pamuk/süt (kazein) lifi karışımı yapılarında, pamuk ipliği oranında azalma oldukça kumaşların daha yüksek ısı direnç ve daha sıcak temas hissi sağladığı, su buharı geçirgenliği değerinin düştüğünü (Marmaralı vd., 2008; Oğlakcıoğlu vd., 2009) görülmüştür. Elastan iplik kullanımının geçirgenlik değerini azalttığı için, ısı izolasyon özelliğini iyileştirdiğini (Oğlakcıoğlu vd., 2009); iplik numarası artışı ile ısı direnç ve ısı soğurganlık değerlerinin azaldığını, su buharı geçirgenliği özelliğinin

iyileştğini (Özdil vd., 2007); kumaş kalınlığı arttıkça, ısıl direnç değerinin arttığını, su buharı ve hava geçirgenliği değerlerinin düştüğünü (Havenith, 2002); tüm örme kumaş yapıları için sıklık değeri arttıkça, ısıl soğurganlık değerinin arttığını, ısı direnç, su buharı ve hava geçirgenliği değerlerinin azaldığını (Marmaralı vd., 2006); futter kumaşlara uygulanan şardonlama işlemi kumaşın daha sıcak bir temas hissi sağladığını (Akçakoca Kumbasar vd., 2011), ortaya koymaktadır.

Genel olarak bu çalışma, iç/dış farklı hammaddelerin yalancı rib örgüsüyle ısıl konfor, su buharı geçirgenlik ve sıvı transfer özelliklerini araştırmak için yapılmıştır. Bu çalışmada testler için tasarlanan 10 adet kumaşın vücut ile temas halindeki iç yüzlerinin deride oluşturdukları hisler de göz önüne alınmıştır. Vücudu saran, dikişsiz örme teknolojisiyle üretilen numunelerde, dikişin oluşturduğu sertlik hissini en aza indirildiği için, kumaşın hammadde ve yapısına bağlı olarak aktif hareketler halinde daha rahat bir kullanım konforu sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışma kapsamında, kumaşların Alambeta ve MMT gibi temel performans parametresi değerleri incelenmiş ve kumaş grubuna ait sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

Çalışmada, yün, polyester, poliamid, Prolen®Vel polipropilen, Nilit Heat® ve termal izolasyonlu iplik gibi ısıl direnç açısından avantajlı veya sentetik liflerin kumaşın iç yüzünde konumlandığı, dış yüzde ise temel sentetik lifler olan polyester (PES), poliamid (PA) ve polipropilenin (PP) kullanıldığı kapsamlı bir kumaş grubu incelenmiştir.

Südwolle Firması'ndan temin edilen yün ipliği, yıkamalar sırasında keçeleşme oluşturmayan bir ipliktir. Karbonize Kahveden üretilmiş olun NILIT Heat®; doğal izolasyon sağlar. Karbonize kahveden yapılmış olan bu iplik üstün yalıtıcı ve anti-bakteriyel özelliklere, ayrıca güçlü bir deodorant etkisine sahiptir. Bunların yanında terlemeyi önleyerek, yüksek seviyede 24 saat rahatlık ve performans sağlar. İplik çevre dostudur. Naylon ipliğidir. NILIT Heat® içerikli iplikler rahat ve esnekler. İdeal kullanım alanları çoraplar, tayt, spor giyim, iç giyim ve ısıtıcı kıyafetlerdir (<https://www.nilit.com/fiber/sustainable/sensil-heat/>). PROLEN®VEL- Polipropilen İplik; spor giyim, iç giyim ve diğer uygulamalarda kullanılan yüksek elastik dokulu bir polipropilen multifilaman ipliğidir. Tekstil endüstrisinde% 100 versiyonda kullanılabilir veya doğal veya diğer sentetik iplikler ile karıştırılabilir (<https://www.prolenyarn.com/prolen-yarn/prolen-vel/>). İçi boşluklu yapıya sahip, termal yalıtım sağlayan ipliklerdir. Yeni geliştirilen termal izolasyonlu özel Pes İplik; İçi boş elyafın içindeki hava cepleri aracılığıyla sıcaklık değişimlerine karşı koruma özelliği sağlar. Bu ipliklerinden yapılan örme ve dokuma kumaşlar, standart PA 6.6 veya polyesterden yapılan benzer parçalardan daha hafiftir. Gipe Elastan, her türlü örme kumaşlarda kullanılabilir. Spor kıyafetlerinde ve özellikle esneklik isediğimiz ürünlerde normal bir iplik gibi kullanılır, kumaşa esneklik ve mukavemet sağlar.

2.2. Yöntem (Method)

Kumaşların teknik ön çalışmasında suprem örgü şeklinde ısıl direnç değerleri hakkında bilgi sahibi olunmuştur (Kaplan ve Yılmaz 2020). Sonraki adımda ise yalancı rib örgüsü ve transfer örgüler olarak test için düz örülmüşlerdir. Çalışma TÜBİTAK-3190866 numaralı proje kapsamında geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise proje çıktılarında olan 10 adet farklı içerikte numune kumaş incelenmiştir. Çalışma kapsamında 10 farklı iplik kombinasyonundan oluşan numunelerin Tablo 1' de karışımları verilmiştir.

Tablo 1. Numune Giysi Karışımları (Sample Clothing Mixtures)

NUMUNE ADI	NUMUNE İÇERİĞİ
TRML 1	PES/EL
TRML 2	PES/PA/EL
TRML 3	PES/PP/EL
TRML 4	NİLİT Heat®/PA/EL
TRML 5	PA/TRMLİZO 2 /EL
TRML 6	Yün /K.PES/EL
TRML 7	Yün/ PA/EL
TRML 8	PA/Prolen PP®/EL
TRML 9	PA/ TRMLİZO 3/EL
TRML 10	PA/ TRMLİZO 1/EL

Araştırma ve analizler sonucunda tasarlanmış prototipler Ozanteks Tekstil Dikişsiz Örme Bölümünde yalancı rib örgüde üretilmiştir. Uygulanacak testlerin ve yapılacak değerlendirmelerinin sağlıklı olabilmesi için deneylerde kullanılacak kumaşların; aynı şartlar altında, aynı ipliklerden, aynı dikişsiz yuvarlak örme makinelerinde ve aynı boyama makinelerinde boyanıp üretilmesi sağlanmıştır. Kumaşların boya/ön terbiye işlemleri boyahane bölümünde gerçekleştirilmiştir. Seçilen kumaşlara Alambeta ve MMT testleri uygulanmıştır. Isıl iletkenlik (W/mK), ısıl direnç ($m^2 K/W$), ısıl soğurganlık ($Ws^{1/2} / m^2K$) ve kalınlık (mm) termal özellikleri ile birlikte Alambeta Termal Değerlendirme Sistemi'nde belirlenmiştir. Testler standart atmosfer koşullarında ($20\pm 2^\circ C$ sıcaklık, 65 ± 2 bağıl nem) gerçekleştirilmiş ve kumaşlar kondüsyonlanmıştır. Tüm testler için beş tekrar yapılmıştır. Test sonuçları, odak grup toplantıları ve karar analizi çalışmalarının ardından (ANOVA) kullanılmıştır. Varyans analizi sonuçları % 95 güven seviyesi için geçerlidir. Elde edilen verilerin farklı hammadde yapılarına göre istatistiksel olarak anlamlı farklar gösterip göstermediği boxplot Çoklu Dağılım Testleri kullanılarak belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma (Results and Discussion)

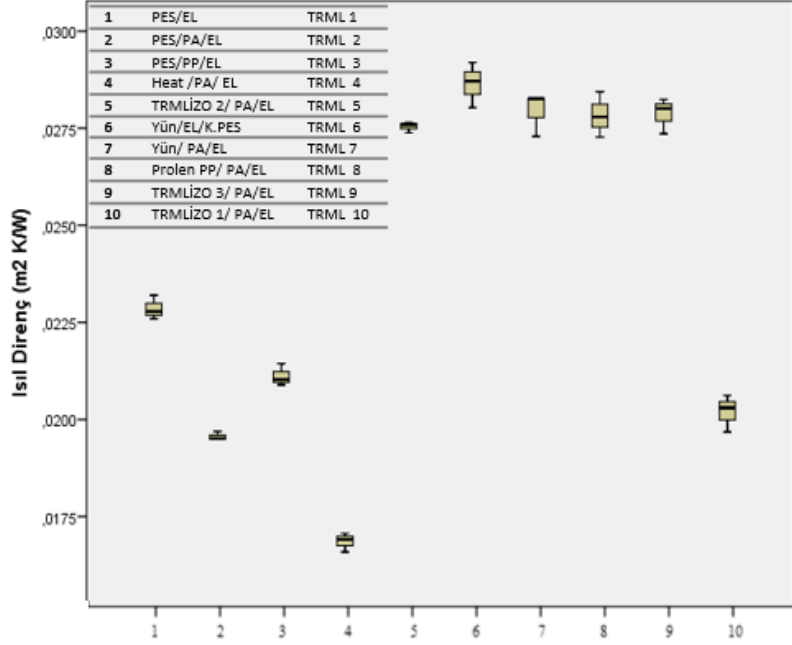
Seamless örme teknolojisiyle ısıl yalıtımlı, soğuktan koruyucu termal ürünler elde etmek amacı ile yalancı rib örgüyle üretilen kumaşların; Alambeta (Isıl iletkenlik (W/mK), ısıl direnç (m^2K/W), ısıl soğurganlık ($Ws^{1/2} / m^2K$) ve kalınlık (mm)) ve MMT testleri yapılmış, temel performans özellikleri incelenmiştir. Numunelerin termal direnç (Alambeta) ölçümleri ile Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Numunelerin termal direnç - Alambeta Ölçümleri (Thermal resistance of samples - Alambeta Measurements)

Numune	Ölçüm	Isıl İletkenlik (W/mK)	Isıl Direnç ($m^2 K/W$)	Isıl Soğurganlık ($Ws^{1/2} / m^2K$)	Kalınlık (mm)
TRML 1.	Ortalama	0,05231	0,02286	102,00667	1,19567
	Stnd. Sap.	0,00032	0,0003121	2,42709	0,00660
TRML 2.	Ortalama	0,05262	0,01956	112,10000	1,02967
	Stnd. Sap.	0,00027	0,0001102	3,04467	0,00404
TRML 3.	Ortalama	0,05585	0,02112	132,16667	1,17967
	Stnd. Sap.	0,00100	0,0002858	4,75955	0,02593
TRML 4.	Ortalama	0,05709	0,01986	149,10000	0,96253
	Stnd. Sap.	0,00087	0,0002444	4,25793	0,01831
TRML 5.	Ortalama	0,05737	0,02754	145,50000	1,00633
	Stnd. Sap.	0,00036	0,000138	2,55343	0,00404
TRML 6.	Ortalama	0,04907	0,02864	126,00000	1,40567
	Stnd. Sap.	0,00032	0,0005829	1,05830	0,03153
TRML 7.	Ortalama	0,04694	0,02794	114,00000	1,31133
	Stnd. Sap.	0,00057	0,00056	0,55678	0,01762
TRML 8.	Ortalama	0,05883	0,02783	163,03333	1,02967
	Stnd. Sap.	0,00049	0,0005862	3,23161	0,00808
TRML 9.	Ortalama	0,05697	0,02787	153,30000	1,01807
	Stnd. Sap.	0,00038	0,0004564	3,42199	0,02413
TRML 10.	Ortalama	0,05371	0,02020	142,90000	1,08500
	Stnd. Sap.	0,00015	0,0004779	4,70850	0,02406

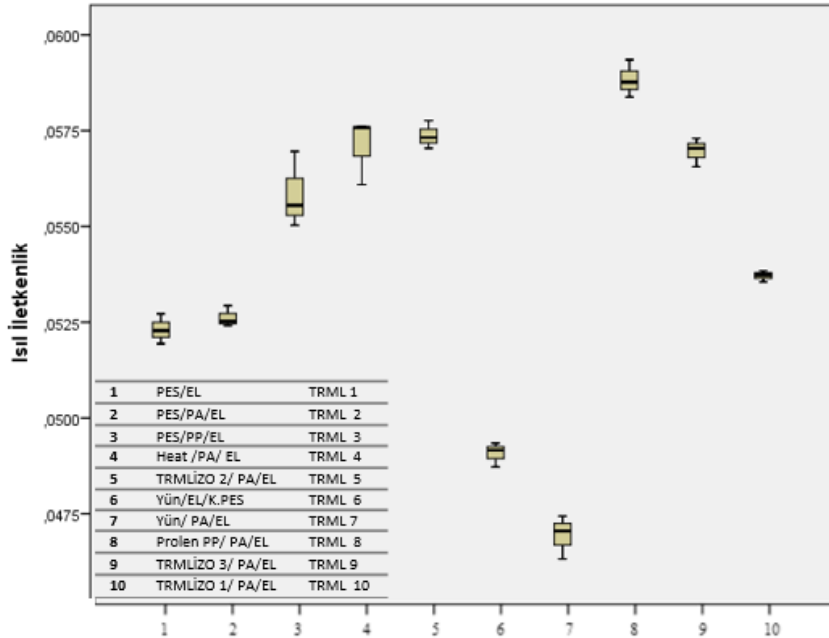
Çalışmanın amacına bakıldığında hafif, ince, orta seviyede ısıl yalıtım sağlayan, yeterli sıvı transferine sahip ve nefes alabilir yapıda kumaşlar elde etmek hedeflenmiştir. İlk olarak Isıl Direnç ($m^2 K/W$) özelliği incelenmiştir. Numunelere yapılan ANOVA analizi sonucunda %95 güven aralığında kumaşlar aralarındaki farkların anlamlı olduğu tespit edilmiştir. ANOVA analizinde yapılan çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre boxplot grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Bu kapsamda; Yün/Katyonik PES (6) kumaşının istatistiksel olarak anlamlı düzeyde en yüksek yalıtımı sağladığı, bu kumaşı TRMLİZO 2/PA (5), Yün/PA (7), Prolen PP/PA (8) ve TRMLİZO 3/PA (9) kumaşların benzer istatistiksel farklarla takip ettiği gözlenmiştir. Yün karışımı kumaşlar genel olarak en yüksek yalıtım değerlerini sağlamış, yünün katyonik PES ile kombinasyonu (6) ise PA ile kombinasyonuna (7) göre anlamlı düzeyde daha yüksek ısıl direnç değerleri vermiştir. Bu durum, poliamidin daha yüksek rutubet absorblama kapasitesine de bağlı olarak sahip olduğu daha yüksek termal iletkenliğe bağlanabilir. Ortalama $27-28 \times 10^{-3} W/m^2K$ düzeyinde ısıl direnç değerlerine sahip bu kumaşlar (5,6,7,8,9), projede amaçlanan $20 \times 10^{-3} W/m^2K$ limitini aştıkları gibi, soğuktan koruyucu bir giysinin iç katmanı için ortanın üzerinde yüksek yalıtıma sahip olma limitine ulaşmışlardır. PA'in içi boşluklu PP ile kombinasyonu (8) yüksek yalıtımlı grupta yer alması, zaten düşük termal iletkenliğe sahip olan polipropilenin içi boşluklu formda daha fazla hava hapsedmesine bağlı olarak

yalıtımının artmasına bağlanabilir. Bu iplik dışında poliamidin, yeni geliştirilen termal izolasyonlu ipliklerin aşama aşama geliştirdiği için boşluklu filamentlerle (5, 9) kombinasyonları da yüksek ısı direnç değerleri vermiştir ki bu durum ayrıca ulusal bir firmanın performansı açısından avantajdır. Bahsedilen kumaşları istatistiksel olarak anlamlı farklarla standart sentetik elyafdan üretilen PES/PES (1) ve PP/PES (3) kumaşlar takip etmiştir. PA/PES (2) ve K TRMLİZO 1/PA (10) kumaşların ise benzer performanslarla standart sentetik elyaf kumaşlarını takip etmiştir ve standart formda da PP/PA' ya göre PES ile kombinasyonlarında daha yüksek yalıtıma sahip olmuştur. Korteks Firması'nın son iki geliştirdiği ürünün performanslarının ilkinden iyi ve yeterli olduğu da tespit edilmiştir. Seçilen ikinci grup içerisinde en düşük ısı direnç değerleri ise kahve çekirdeği partikülleriyle vücut ısısını depolayıp yalıtımı artırdığı belirtilen Nilit Heat®/PA (4) kumaştır.



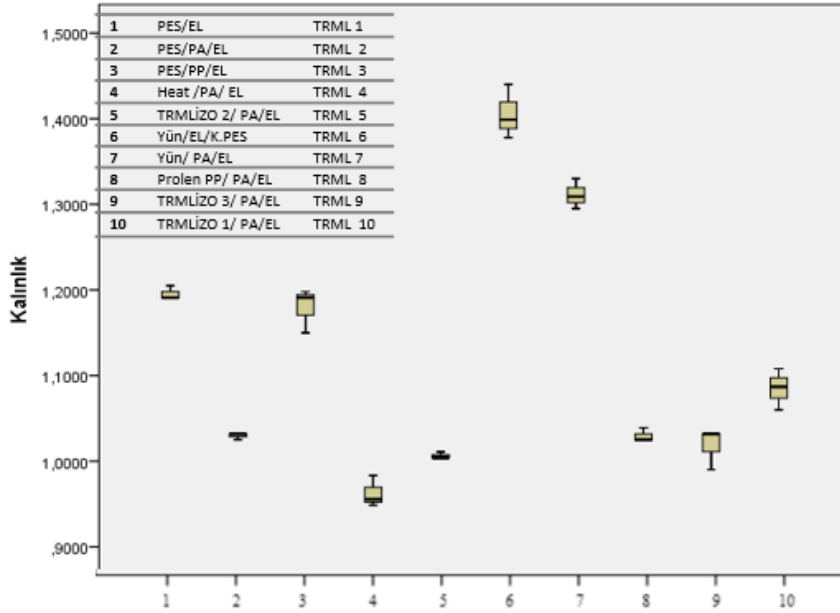
Şekil 1. Alambeta ısı direnç test sonuç (m² K/W) boxplot grafiği (Alambeta thermal resistance test result (m² K/W) boxplot chart)

Isıl iletkenlik, bir materyalden, birim kalınlıkta, 1°K sıcaklık farklılığında geçen ısı miktarının ölçüsüdür. Malzemenin iki yüzeyi birim sıcaklık farkına maruz kaldığında gerçekleşmektedir. Isıl direnç sonuçları ile de kumaş kalınlığına bağlı ters orantılı bir ilişkiye sahiptir. Şekil 2'de Alambeta Isıl İletkenlik (W/mK) test sonuçları boxplot grafiği verilmiştir.



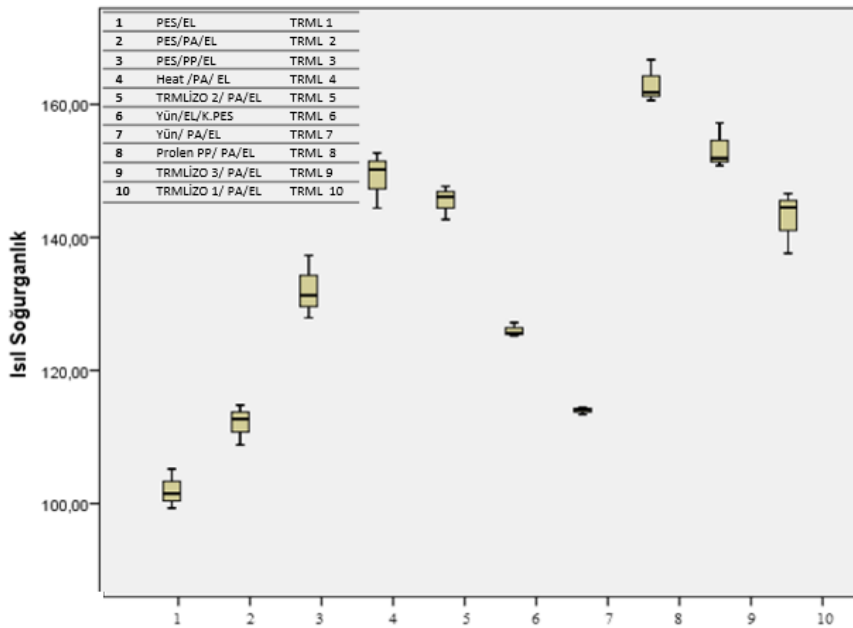
Şekil 2. Alambeta Isıl İletkenlik (W/mK) test sonuç boxplot grafiği (Alambeta Thermal Conductivity (W/mK) test result boxplot chart)

İstatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde, ısı iletkenlik değerlerinin ısı direnç değerleriyle tam olarak ters bir sıralamaya sahip olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi, iplik özelliklerindeki küçük fiziksel farklılıklara (stapel/filament, büküm katsayısı, vb.) bağlı olarak kumaş kalınlıklarındaki anlamlı farklılıklar olarak tespit edilmiştir. Kumaş kalınlık değerlerine boxplot sonuçları Şekil 3’de görülmektedir. Kalınlık (mm) farklarından dolayı sapmalar olsa da yüksek ısı dirence sahip yün içerikli kumaşlar (6,7) en düşük ısı iletkenliğe sahip olmuş, en düşük ısı dirence sahip TRML 8 kumaşı da yüksek iletkenliğe sahip grupta yer almıştır. Literatürde daha çok kalınlığın da hesaba katıldığı ısı direnç sonuçları dikkate alındığı için daha ayrıntılı yorumlar direnç değerleri için yapılmıştır. Şekil 3’de Alambeta kalınlık (mm) test sonuç boxplot grafiği verilmiştir.



Şekil 3. Alambeta kalınlık (mm) test sonuç boxplot grafiği (Alambeta thickness (mm) test result boxplot graph)

Isıl soğurganlık derecesi, kumaş ve cilt sıcaklıkları arasındaki farka ve ölçüm süresine bağlıdır. Bu parametre ayrıca kumaş-deri arasındaki ısı transferinin alanını etkileyen kumaş yüzey özellikleri ile de ilişkilidir. Daha önceki çalışmalarda, benzer yüzey özelliklerine sahip iki kumaşta elyaf etkisinin ortaya çıktığı, fakat genel olarak kumaş yüzey özelliklerinin daha belirleyici etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Isıl soğurganlık değeri düşük ise sıcaklık hissi, yüksek ise soğukluk hissi vermektedir. Alambeta test sonuçlarına göre ısı soğurganlık değerleri şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Alambeta Isıl Soğurganlık ($Ws^{1/2} / m^2K$) test sonuç boxplot grafiği (Alambeta Thermal Absorption ($Ws^{1/2} / m^2K$) test result boxplot graph)

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre en düşük ısı soğurganlık hissi veri en sıcak hissedilen kumaş PES/PES (1)'dir. Bu kumaşı benzer performanslarla PA/PES (2) ve Yün/PA (7) kumaşları takip etmiştir. Daha sonra da Yün/K.PES (7) kumaşı istatistiksel anlamlı farkla bu kumaşları takip eder. Elyaf ısı iletkenliği yanında iplik özelliklerine, kumaş yapısal parametrelerine de bağlı olarak değişen yüzey strüktürüne göre değişen ısı soğurganlığın filament PES/PES kumaşta (1) yün içerikli kumaşlara (6, 7) göre daha düşük çıkması, stapel de olsa yünün yüzeyde belirgin bir tüylülük ve pürüz oluşturmayıp burada elyaf ısı iletkenliklerinin etkin olduğunu göstermiştir. Yünün sahip olduğu kıvrımlı yapı ve yün ipliklerin stapel formları kumaş yüzeyinde deri-kumaş temas alanını azaltmamış, higroskopik yapıda ve PES'e göre çok daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olan yünlü kumaşlar daha soğuk hisler oluşturma eğiliminde olarak tespit edilmiştir. Isıl soğurganlık değerleri en yüksek, dolayısıyla da en soğuk hisler vermesi beklenen kumaşlar ise Heat/PA (4), ProlenPP/PA (8) ve TRMLİZO3/PA (9) kumaşlardır. Kumaşın deriyle temastaki iç yüzeylerinde poliamid esaslı Heat, içi boşluklu PP ve içi boşluklu PES içeren sırasıyla 4, 8 ve 9 kumaşlarının filament olmaları dışında ısı iletim katsayıları ve yüzey özellikleri açılarından sonuç çıkarılabilecek bir ortak noktaları mevcut değildir. Üç temel sentetik elyaf filament formdadır ve filamentlerin içi boşluklu olması temelde ısı direnci artırma amaçlı iken yüzeyden meydana gelen ısı transferini de artırıp daha serin hisler oluşturdukları gözlenmiştir. Çalışmada, soğuktan koruyucu bir giyside sıcak hisler oluşması hedeflendiği için standart sentetik elyaf ile yün karışımlarının kumaş iç yüzeyinde kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

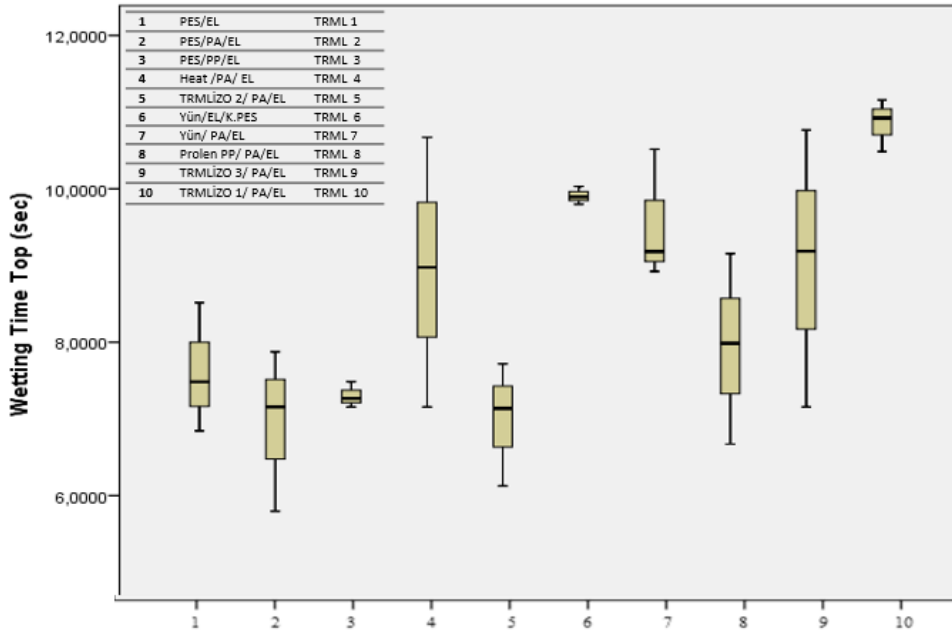
Kumaş Sıvı Absorbsiyon ve Transferi Özellikleri Ölçümü (MMT) (AATCC 195-2012)

Kumaşların sıvı yönetim performansları MMT sistemiyle ölçülmüştür. Yalancı rib örgüye sahip kumaşların iç yüzlerine (top), yani fonksiyonel ipliklerin atlama formunda yer aldığı yüzeye damlatılan sıvı dış yüzeye ulaşmamış, bu yüzden kumaşların dış yüz (bottom) sonuçları tabloda verilmemiştir. Ayrıca, sistemin hesapladığı birikimli tek yönlü transfer kapasitesi ile genel sıvı yönetim kapasitesi (OMMC) parametreleri de hesaplanamamış, Tablo 3' de verilmemiştir. Sonuç olarak; numunelerin üst ıslanma Süresi (sn), üst emilim/absorbsiyon oranı (%/sn), üst yayılma hızı (mm/sn) değerleri hesaplanmıştır. Kumaşların tümünün ıslanma yarıçapları da 5 mm çıktığı için kumaşları ayırt etmede bir parametre olarak kullanılamamış, Tablo3'de verilmemiştir.

Tablo 3. Numunelerin termal direnç MMT Ölçümleri (Thermal resistance MMT Measurements of the Samples)

Numune	Ölçüm	Wetting Time Top Üst İslanma Süresi (s) (sec)	Top Absorption Rate (%/sec) Üst Absorbsiyon Oranı (%/s)	Top Spreading Speed (mm/sec) Üst Yayılma Hızı (mm/s)
TRML 1. PES/ EL	ort.	7,6147	62,5496	0,6484
	std. Sapma	0,8436	16,6278	0,0690
TRML 2. PES/PA	ort.	6,9427	55,4877	0,7154
	std. Sapma	1,0553	2,7866	0,1121
TRML 3. PES/PP	ort.	7,3020	57,7361	0,6685
	std. Sapma	0,1676	5,0406	0,0147
TRML 4. Nilit Heat®/PA	ort.	8,9347	74,0491	0,5622
	std. Sapma	1,7584	5,8647	0,1128
TRML 5. TRMLİZO 2/PA	ort.	6,9937	54,1488	0,7375
	std. Sapma	0,8062	7,4687	0,0892
TRML 6. Yün/ K.PES	ort.	9,9080	386,3977	0,5017
	std. Sapma	0,1175	4,5251	0,0113
TRML 7. Yün/PA	ort.	9,5393	399,5640	0,5036
	std. Sapma	0,8548	7,2901	0,0424
TRML 8. Prolen PP®/PA	ort.	7,9380	381,4233	0,6449
	std. Sapma	1,2427	14,2067	0,0988
TRML 9. TRMLİZO 3/PA	ort.	9,0360	119,7428	0,5664
	std. Sapma	1,8097	67,9895	0,1133
TRML 10. TRMLİZO 1/PA	ort.	10,8543	245,3750	0,5932
	std. Sapma	0,3416	60,0017	0,2539

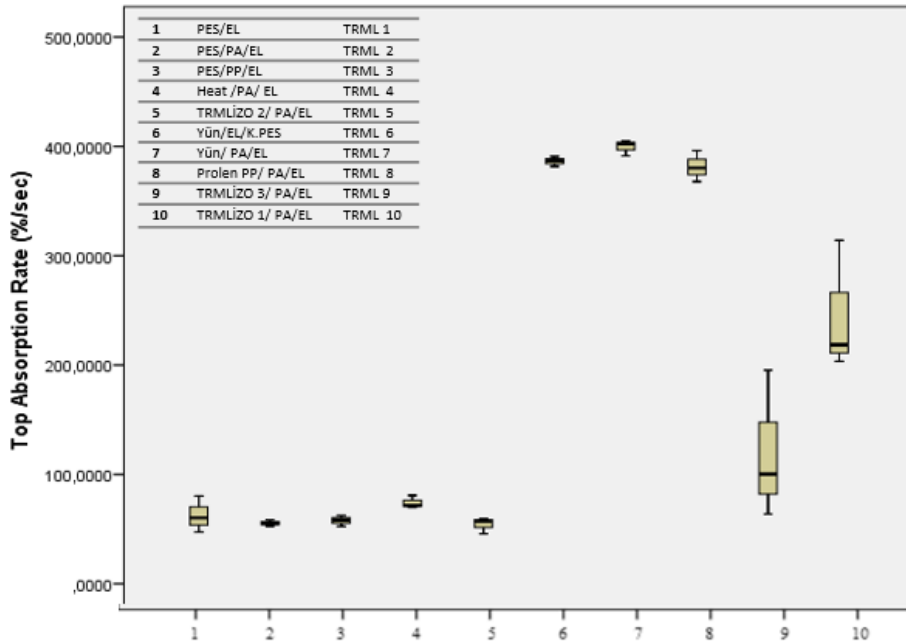
MMT üst ıslanma süresi değerleri ANOVA analiz sonuçları arasındaki farklar anlamlı olarak tespit edilmiştir ($p = .002$). ANOVA testi sonucunda aralarında anlamlı fark görülen kumaşların üst ıslanma değerleri arasındaki farkı görebilmek için yapılan çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Şekil 5'de ise boxplot (kutu diyagramı) verilmiştir.



Şekil 5. MMT üst ıslanma değerleri test sonuç boxplot grafiği(MMT upper wetting values test result boxplot chart)

Tablo 3’de özetlenen istatistiksel analiz sonuçlarına göre kumaşların iç yüzeylerinin ıslanma süreleri aralarındaki farklar genel olarak anlamlı olmasa da genel olarak daha düşük ve tercih edilen değerleri veren kumaşlar PA/PES (2) ve TRMLİZO 2/PA (5) olmuştur. Sıvıyı en yüksek sürede absorbe eden kumaş ise TRMLİZO 1/PA (10)’dir ve genel olarak kumaşlar aralarındaki farklar anlamlı olmadığı için kesin sonuçlara ulaşamamıştır. Kumaş ıslanma süreleri termal izolasyonlu özel ipliğin 2. jenerasyon içi boşluklu filament ile standard poliamidin sıvıyı minimum zamanda absorbe ettiği gözlenmiştir. Genel olarak tüm veriler alınmadığı için MMT skala değerlendirmesi yapılamamış olsa da kumaşların genel olarak MMT’ nin 5 saniyelik limitine yakın olarak 6.9-10.9 saniye aralığında sıvıyı absorbe ettikleri tespit edilmiştir.

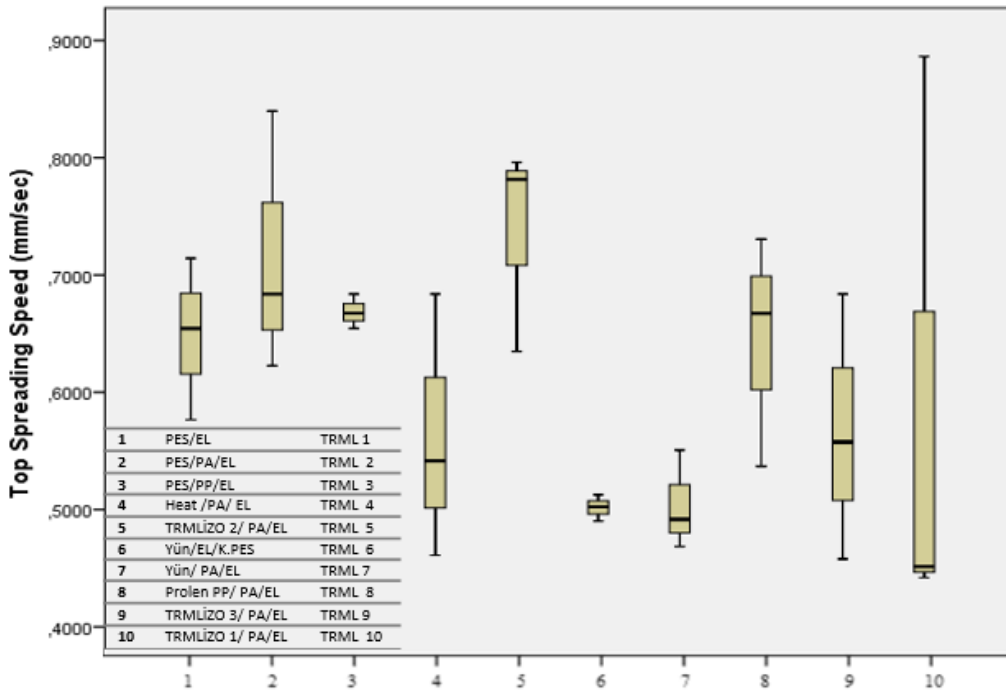
Çalışmada kumaşların MMT üst absorpsiyon oranı değerleri ANOVA analiz sonuçları p değeri, ,000 çıkmıştır. ANOVA testi sonucunda aralarında anlamlı fark görülen kumaşların üst ıslanma değerleri arasındaki farkı görebilmek için yapılan çoklu karşılaştırma testi yapılmış, Şekil 6’ da ise boxplot (kutu diyagramı) verilmiştir.



Şekil 6. MMT Üst Absorpsiyon Oranı (%/s) değerleri test sonuçları(MMT Upper Absorption Rate (%/s) values test results)

Sıvının kumaşı ıslattıktan sonra içerideki ilerlemesi hakkında fikir veren absorpsiyon oranı sonuçlarına ait istatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde, sıvıyı en hızlı transfer eden kumaşların Yün/K.PES (6), Yün/PA (7) ve Prolen PP/PA (8) kumaşlar olduğu tespit edilmiştir. Sıvıyı absorbe etme süreleri yaklaşık 9 saniyelerde olsa da yünlü kumaşların dış yüzeylerini oluşturan katyonik poliester ve poliamid ile sıvıyı transfer etme performanslarının iç/dış standart veya modifiye sentetik filamentlerden oluşan 1, 2, 3, 4 ve 5 kumaşlara göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Projede incelenen yalancı rib yapılarda olduğu gibi çift yüzlü veya çift katlı yapılar için literatürde önerilen; iç katmanın hidrofobik bir filament, dış katmanın ise hidrofik bir hammaddeden üretilmesi gerektiği yönündeki sonuçlar bu projede elde edilen sonuçlarla bir miktar çelişmektedir. Müşteri tercihleri de doğrultusunda dokunsal konforu iyileştirmek amacıyla stapel yün ipliğin giysinin iç kısmında kullanımı, sıvı transferi açısından kabul edilemez bir dezavantaj oluşturmamıştır. Daha önceki literatürde yer alan çalışmalarda damla ve batma testleri sonuçlarında da Yün/PES kumaş, projede MMT ile elde edilen sonuçlarla uyumlu şekilde iyi performanslar göstermiştir. Ayrıca, bu tür yapılarda iç ve dış katmanlarda elyaf kalınlıklarındaki farktan dolayı oluşan sifon etkisi ile iç yüzde daha kalın, dış yüzde daha ince elyaf kullanımı ile de kalınlık yönündeki transferin artırılabilceği belirtilmiştir. Fakat seçilen kumaşlar arasında filament numaraları ile bu tür bir sifon etkisi oluşmamıştır (Heat/PA için PA daha ince filamentlerden oluşsa idi bu durum geçerli olabilirdi). Çalışmada genel olarak içi boşluklu filamentlerde (8, 9, 10) daha iyi bir transfer performansı gözlemlenmiştir.

Çalışmada kumaşların MMT üst yayılma hızı değerleri ANOVA analiz sonuçları p değeri, 184 çıkmıştır, dolayısıyla kumaşların üst ıslanma değerleri arasında anlamlı bir fark yoktur. Şekil 7' de yayılma hızı değerlerine ait boxplot (kutu diyagramı) verilmiştir. Genel olarak, MMT ölçümlerinde sıkça görülen yüksek varyasyonlar nedeniyle yayılma hızları aralarındaki farkların anlamlı olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 7. MMT üst yayılma hızı değerleri test sonuç boxplot grafiği (MMT top propagation velocity values test result boxplot graph)

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Çalışma kapsamında iç/dış farklı hammaddelerin yalancı rib örgüsüyle birleştirilip test edilmesi sonrasında farklı ısı direnç ve sıvı transfer özelliklerine sahip kumaşlar ile yeni bir veri tabanı elde edilmiştir. Hemen hemen tüm numunelerin termal direnç koşulları sağladığı belirlenmiş, özellikle ikinci aşamaya seçilen numunelerde ortanın üzeri yalıtım değerleri sağlanmıştır. Sıvı transferi testleri de, müşteri istekleri doğrultusunda yünün iç yüzde kullanımının önemli dezavantajlar sağlamadığını göstermiştir. Yapılan tüm testler sonucunda soğuktan koruyucu dikişsiz giysilerin yalıtım ve sıvı transfer özellikli ısı yalıtımlı kumaşların, iç katmanda sıvı transfer özelliğine sahip PES/PES, Heat/PA ve TRMLİZO3/PA sentetik materyal, ısı yalıtımlı bölgelerde yün, TRMLİZO, PES kombinasyon ve dış katmanda ise nem absorpsiyon yeteneği yüksek olan yün vb., gibi iplikler kullanılırken, fonksiyonel ipliklerin hep içte kullanılmasına karar verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar genellikle istatistiksel olarak aralarında fark oluşturmasalar da termal izolasyonlu ipliklerin

daha düzgün, yünün ise daha az da olsa rahatsızlık verebilecek pürüzlülüğü ve kullanım sırasında kötü bir his yaratabileceği bir konfor alanına sahip olduğu belirtilebilir. Sonuçlara kapsam olarak ise, Nilit Heat®, Prolen PP® veya Termal izolasyonlu iplik iç yüzeye, PA ve PES dış yüzeye sahip bir kumaşın vücudu saran koruyucu giysi içliği ve ya sportif giysi olarak uygun olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca yapmış olduğumuz çalışma 2021/020715 numaralı sayısı ile patent başvurusu gerçekleştirilmiştir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmayı 3190866 No`lu Proje ile destekleyen TÜBİTAK' a, testlerin yorumlanması ve proje danışmanlığını yürüten Süleyman Demirel Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Prof. Dr. Sibel Kaplan Hocamıza desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kısaltmalar (Abbreviations)

EL	Elastan
K.PES	Korteks polyester
PES	Polyester
PA	Poliamid
PP	Polipropilen
TRMLİZO	Termal izolasyonlu iplik
TRMLİZO 2	%3 katkılı termal izolasyonlu iplik
TRMLİZO 3	%6 katkılı termal izolasyonlu iplik

Kaynaklar (References)

- Akçakoca Kumbasar E. P., Marmaralı A., Oğlakcıoğlu N., (2011), Finishing Treatment Effects on Thermal Comfort Properties of Three-Yarn Fleece Fabrics, AATCC Review, 11(4), 46-51.
- Aras Elibüyük, S., Yıldırım, F. F., Koptur, P., Yılmaz, A., Çörekciöğlu, M., (2019). Termal Giysi Prototiplerinin Isıl Direnç Ölçümlerinin Karşılaştırılması ve Analizlerinin Yapılması. 17th National 3rd International The Recent Progress Symposium On Textile Technology And Chemistry 20-22,November Bursa, Turkey.
- Aras,S., Yıldırım,F. F., Çörekciöğlu, M, (2018). Thermal Comfort Effect Of Knitted Fabric Used In Textiles. 7th International Technical Textiles Congress .12 Ekim.233-236.
- Atasağın, H. G., (2016): Termal Koruyucu Giysilerin Koruma Performansı Üzerinde Hava Boşluklarının Etkisi, Tekstil ve Mühendis, 23: 104, 277-287.
- Bedek, G., Salaün, F., Martinkovska, Z., Devaux, E., and Dupont D., (2011). Evaluation of thermal and moisture management properties on knitted fabrics and comparison with a physiological model in warm conditions. Applied Ergonomics, 42, 792-800.
- Demir, Ö., (2016). Luxicool Elyafı Kullanımının Kumaş Konfor Özelliklerine Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. 93 syf. Denizli
- Dolanbay Doğan, S., (2014). Kaşmir Örne Kumaşların Isıl Konfor Özellikleri. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Giyim Endüstrisi ve Giyim Sanatları Eğitimi Ana Bilim Dalı Giyim Sanatları Eğitimi Bilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi 91 syf. Konya
- Ertekin, G., Marmaralı, A., 2011. Askı Ve Atlamanın Düz Örgü Kumaşların Isıl Konfor Özelliklerine Etkileri. The Journal Of Textiles And Engineer, 18- 83 Syf. 21.
- Gürcüm, B. H., (2010). Tekstil Malzeme Bilgisi. Ankara: Güncel Yayıncılık. Harmancıoğlu, Mustafa (1974). Lif Teknolojisi Yün ve Deri Ürünü Diğer Lifler. İzmir: Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No: 224.
- Havenith, G., (2002). Interaction of clothing and thermoregulation. Exogenous Dermatology, 1, 221-230.
<https://prolen.sk/prolen-yarn/prolen-vel/> (erişim tarihi:10.01.2022)
<https://www.nilit.com/fiber/sustainable/sensil-heat/> (erişim tarihi: 10.01.2022)
- Kaplan S., Yılmaz B., (2020). Fonksiyonel Hammaddelerden Üretilen Çift Yüzlü Sportif Giysilik Kumaşların Sürtünme Ve Bazı Performans Özelliklerinin İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 25, Sayı 3, DOI: 10.17482/uumfd.788914
- Kaplan, S., (2009). Kumaşların Mekanik Özelliklerinden Ve Geçirgenlik Özelliklerinden Yararlanılarak Giysi Konforunun Tahminlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Kaplan, S., Okur, A., (2013). Tekstil Materyalinde Meydana Gelen Isı Ve Kütle Transferi Mekanizmalarının Giysi Termal Konforu Üzerindeki Etkileri, Tekstil ve Mühendis, (62-63), 28-36.
- Kaplan, Sibel ve Okur, Ayşe (2008). The meaning and importance of clothing comfort: A case study for Turkey. Journal of Sensory Studies, 23, 688-706.

- Li, Yi and Wong, Anthony. S. W. (2006a). Introduction to clothing biosensory engineering. (Edited by: Yi Li and Anthony S. W. Wong). Clothing Biosensory Engineering. England: Woodhead Publishing Limited. 1-8.
- Li, Yi and Wong, Anthony. S. W. (2006b). Psychology and sensory comfort. (Edited by: Yi Li and Anthony S. W. Wong). Clothing Biosensory Engineering. England: Woodhead Publishing Limited. 9-27
- Marmaralı A., Kadoğlu H., Oğlakcıoğlu N., Bedez Üte T., (2008), Thermal Comfort Properties of Milk Protein/Cotton Fiber Blended Knitted Fabrics, Simpozionul Anual Al Specialiştilor Din Industria De Tricotaje-Confectii, Bildiri kitabı, 13-15 Kasım 2008, Iaşi, Romanya.
- Marmaralı A., Oğlakcıoğlu N., Dönmez Kretschmar S., (2006), Thermal Comfort and Elastic Knitted Fabrics, CIRAT-2 (The Second International Conference of Applied Research on Textile), Bildiri kitabı, 30.11.2006/02.12.2006,
- Marmaralı, A., Kretschmar D., S., Özdil, N. ve Oğlakcıoğlu, G. N., (2006). Giysilerde ısı konforu etkileyen parametreler. Tekstil ve Konfeksiyon, 4, 241-246.
- Monastir, T., Erdoğan, M. Ç., (1993), Giysi Fizyolojisi, Tekstil ve Konfeksiyon, 33, 63-66.
- Oğlakcıoğlu N., Çelik P., Bedez Üte T., Marmaralı A., Kadoğlu H., (2009), Thermal Comfort Properties of Angora Rabbit/Cotton Fiber Blended Knitted Fabrics, Textile Research Journal, 79(10), 888-894.
- Oğlakcıoğlu N., Marmaralı A., (2007), Thermal Comfort Properties of Some Knitted Structures, Fibres&Textiles in Eastern Europe, 15 (5-6/64-65), 94-96.
- Oğlakcıoğlu N., Marmaralı A., (2009), Thermal Comfort Properties of Double Face Fabrics Knitted with Cotton and Polypropylene, AUTEX 2009, Bildiri kitabı, 26-28 Mayıs 2009, İzmir, Türkiye.
- Oğlakcıoğlu N., Marmaralı A., 2010, "Rejenere Selüloz Liflerinin Kompresyon Çoraplarının Isıl Konfor Özelliklerine Etkisi", Tekstil ve Mühendis, 17(77), 6-12, <https://tugbadot.files.wordpress.com/2017/03/sunum-1-2-haftanc4b1n-ders-sunumu.pdf>
- Oğlakcıoğlu N., Özdil N., (2006), Thermal Comfort of Cotton Socks, CIRAT-2 (The Second International Conference of Applied Research on Textile), Bildiri kitabı, Monastir, Tunus.
- Öndel, K., Mergen, H., 2009, "Isıl Konfor Parametrelerinin İnsan Vücudundaki Etkilerine Yönelik Literatür Taraması", Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 16 (1), 25-26.
- Öner, E., 2015. Çeşitli Liflerden Üretilen Kumaşlardan Yapılan Spor Giysilerinin Termal Konforunun Değerlendirilmesi ve Geliştirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s.,228, İzmir.
- Öner, E., Okur, A., 2010. Materyal, Üretim Teknolojisi Ve Kumaş Yapısının Termal Konfora Etkileri. Tekstil ve Mühendis, 17(80), 20-29.
- Özdil N., Marmaralı A., Dönmez Kretschmar S., (2007), Effect of Yarn Properties on Thermal Comfort of Knitted Fabrics, International Journal of Thermal Sciences, 46, 1318- 1322.
- Pac, M.J., Bueno M.A. and Renner M., (2001). Warm-Cool Feeling Relative to Tribological Properties of Fabrics, Textile Res. J., 71(19), 806- 812.
- Shishoo, R. (Ed.), (2005). Textiles in Sport, Boca, Raton, Boston, New York, Washington: The Textile Institute, CRC, WP
- Süpüren, G., Oğlakcıoğlu, N., Özdil N., Marmaralı A., (2011), Moisture Management and Thermal Absorptivity Properties of Double-Face Knitted Fabrics, Textile Research Journal, 81(13), 1320-1330.
- University of Washington, (2012), https://books.google.com.tr/books?id=cHeo_uVUiTgC&pg=PT3&lpg=PT3&dq=University+of+Washington,+2012&source=bl&ots=JNkYuLOn6G&sig=ACfU3U1_vrQXSRVv2Yw_8IS86rRs-kQtEw&hl=tr&sa=X&ved=2ahUKewi679Pv_ab1AhVARfEDHQKyCmsQ6AF6BAGQEAM#v=onepage&q=University%20of%20Washington%2C%202012&f=false (erişim tarihi 11.01.2022)
- Uslu, N.B., (2021). Kadim Tıptan Modern Tıbbı Yünün Medikal Kullanımı. Bütünleyici ve Anadolu Tıbbi Dergisi, 2(2), 18-29.
- Wang, Zhong (2002). Heat and Moisture Transfer and Clothing Thermal Comfort. Phd Thesis. The Hong Kong Polytechnic University Institute of Textiles and Clothing, Hong Kong.
- Wong, A. S. W. and Li, Yi (2002). Clothing sensory comfort and brand preference. In Proceedings of the 4th IFFTI International Conference. Hong Kong, 1131-1135.
- Yıldırım, F.F., Aras, S., Çörekçioğlu, M., Yılmaz, A., (2018). Evaluation Of Thermal Properties Of Seamless Thermal Fabrics. VII. International Technical Textiles Congress 10-12 October 2018, İzmir
- Yoo, H. S., Hu, Y. S., (2000), Effects of Heat and Moisture Transport in Fabrics and Garments Determined with a Vertical Plate Sweating Skin Model, Textile Research Journal, 70(6): 542-549
- Altınel, İ.K., Öncan, T., 2005. A New Enhancement of the Clarke and Wright Savings Heuristic for the Capacitated Vehicle Routing Problem. Journal of the Operational Research Society, 56 (8), 954-961.



DİL PEYNİRLERİNDEN ÜRETİLEN PEYNİR ÇİPSLERİNİN BAZI KİMYASAL, TEKSTÜREL VE DUYUSAL ÖZELLİKLERİ

Sümeýra UĞUR^{1*}, Bedia ŞİMŞEK¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Peynir Çipsi,</i> <i>Dil Peyniri,</i> <i>Akrilamid,</i> <i>Stevia.</i>	Bu çalışmanın amacı dil peynirinden üretilen peynir çipslerinin bazı özelliklerini (fiziko-kimyasal, akrilamid, fiziksel, mikrobiyolojik ve duyuşsal) belirlemektir. Çalışmada Dil peynirinden; şekerli (Dil peyniri+sakkaroz), stevalı (Dil peyniri+stevia), tuzlu (Dil peyniri+tuz) ve sade (kontrol) olmak üzere 4 çeşit peynir çipsi üretilmiştir. Çipsler, kontrol grubuna (tuz, şeker ve stevia ilavesiz) göre değerlendirilmiştir. Dil peyniri hamur formülasyonlarına ince, yuvarlak çips şekli verildikten sonra fırında ilk (55 °C, 90 dk) ve son (180 °C, 6 dk) kurutma işlemleri uygulanmıştır. Kurutulan çipsler ambalajlanarak 30 gün boyunca +4 °C'de depolanmıştır. Çipslerin akrilamid değerleri arasında istatistiksel farkın olduğu görülmüştür (p<0.05). Peynir çipslerinin akrilamid değeri 0.206 ppm ile 0.297 ppm aralığında belirlenmiş ve yasal sınırın altında olduğu tespit edilmiştir. Tuzlu örneklerin sertlik ve kırılabilirliğinin diğer örneklerden daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bütün çips örneklerinin toplam duyuşsal özellikler yönünden yüksek beğeni aldığı belirlenmiştir. En beğenilenden başlayarak beğeni sıralaması şöyledir; tuzlu (SA), kontrol (NA), stevalı (ST) ve şekerli (SU).

SOME CHEMICAL, TEXTURAL AND SENSORIAL PROPERTIES OF CHEESE CHIPS PRODUCED FROM DİL CHEESE

Keywords	Abstract
<i>Cheese Chips,</i> <i>Dil Cheese,</i> <i>Acrylamide,</i> <i>Stevia.</i>	The aim of the study is to determine some properties (physicochemical, acrylamide, physical, microbiological and sensory) of cheese chips produced from Dil cheese. In study, 4 types of cheese chips were produced as sucrose (Dil cheese+ sucrose), stevia (Dil cheese+ stevia), saline (Dil cheese+ salt) and plain (control) from Dil cheese. Chips were evaluated according to control group (without salt, sucrose and stevia). The first (55 °C, 90 min) and last (180 °C, 6 min) drying operations were carried out in the oven after the fine, round crisps were formed in the language cheese dough formulations. The dried chips were packaged and stored at +4 °C for 30 days. There has been a statistical difference between the acrylamide values of the chips (p<0.05). The acrylamide value of Dil cheese chips was found between 0.206 ppm and 0.297ppm and these values were detected below the legal limit. Hardness and fragility values of saline samples were determined higher than other samples. It was detected that all samples of chips were highly rated in terms of total sensorial characteristics. Starting from the most liked example, the order of likes is as follows; saline (SA), control (NA), with stevia (ST) and sugar (SU).

Alıntı / Cite

Uğur, S., Şimşek, B., (2023). Dil Peynirlerinden Üretilen Peynir Çipslerinin Bazı Kimyasal, Tekstürel ve Duyusal Özellikleri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 57-67.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Uğur, 0000-0002-7134-0083
B. Şimşek, 0000-0002-7497-1542

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	10.06.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	22.09.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	17.10.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

*İlgili yazar / Corresponding author: sumeyraugr@gmail.com

SOME CHEMICAL, TEXTURAL AND SENSORIAL PROPERTIES OF CHEESE CHIPS PRODUCED FROM DIL CHEESE

Sümeýra UĞUR^{1†}, Bedia ŞİMŞEK²

Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Isparta, Turkey

Highlights

- In study, 4 types of cheese chips were produced as sucrose (Dil cheese+ sucrose), stevia (Dil cheese+ stevia), saline (Dil cheese+ salt) and plain (control) from Dil cheese.
- The acrylamide content of Dil cheese chips was determined below the legal limit.
- It was detected that all samples of chips were highly rated in terms of total sensorial characteristics.

Graphical Abstract

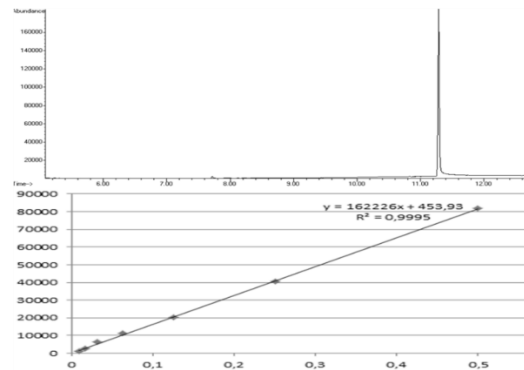


Figure. Acrylamide calibration chart and acrylamide standard chromatogram

Purpose and Scope

In this study, it was aimed to determine whether of Dil cheese can be used as an alternative raw material for chips.

Design/methodology/approach

The study employed physicochemical, physical (texture and color), acrylamide, microbiological, sensory and statistical analysis.

Findings

The acrylamide value of Dil cheese chips was found between 0.206 ppm and 0.297ppm. These values were detected below the legal limit. Hardness and brittleness values of saline samples were determined more than other samples. It was detected that all samples of chips were highly rated in terms of total sensorial characteristics. Starting from the most liked example, the order of likes is as follows; saline (SA), control (NA), with stevia (ST) and sugar (SU).

Research limitations/implications

Saline Dil cheese chips are believed to be industrial-sized or spice-flavored.

Practical implications

What outcomes and implications for practice, applications and consequences are identified? Not all papers will have practical implications but most will. What changes to practice should be made as a result of this research/paper?

Social Implications

It is thought to contribute to the science and economy, as well as to the elimination of the space in the literature and to the awareness of the consumer.

Originality

The originality of the study is stated in the similarity report.

[†] Corresponding author: sumeyraugr@gmail.com

1. Giriş (Introduction)

Atıştırmalık gıdalar genellikle hububat kökenli, kızartılmış, besleyici değeri düşük, yüksek yağ ve karbonhidrat içerikli ürünlerdir (Nor vd., 2013). Cipsler, atıştırmalık gıdalar içerisinde büyük paya sahiptir. Patates ve mısır cipsleri en çok tüketilen cips çeşitleri arasında yer almaktadır (McCarthy, 2001). Ancak son yıllarda tüketicinin besleyici değeri yüksek sağlıklı ürünlere olan talebinin artmasıyla patates cipsine alternatif olarak buğday (Cankurtaran, 2008), tarhana (Özçam, 2012), mısır (Yüksel, 2014), gıda endüstrisi yan ürünleriyle zenginleştirilmiş gluten cipslerinin (Hendek Ertop vd., 2016) yanı sıra havuç (Sulaeman vd., 2003), ananas (Perez-Tinoco vd., 2008), muz (Sothornvit, 2011), elma (Ertekin Filiz, 2015) gibi sebze ve meyvelerden de cips üretim denemelerine rastlanmaktadır.

Dil peyniri; pastörize sütün, starter kültür ilavesi ve proteolitik enzimlerle pıhtılaştırılması sonucu oluşan pıhtıdan peyniraltı suyunun uzaklaştırılması, telemenin fermente edilmesi (15-20 °C), fermente telemenin haşlanması (70-80 °C), haşlanmış telemenin ip şeklinde uzatılarak kalıplara alınması ve dikkörtgen prizması şeklinde kesilmesiyle elde edilmektedir. Şekil olarak dilimlerinin dili andırması nedeniyle bu isimle adlandırılmaktadır (Uysal, 2008). Dil peynirinin geleneksel üretiminde taze sağılmış çiğ koyun sütü tercih edilmektedir fakat endüstriyel üretimde inek sütü kullanılmaktadır. Literatürde farklı peynirlerden yapılan atıştırmalıklar mevcuttur. Rakcejeva vd. (2009), vakumlu bir mikrodalga kurutucu kullanarak Cheddar peynirinden bir atıştırmalık elde etmiştir. Chudy vd. (2019), olgunlaştırılmış Harzer peynirini dilimledikten sonra mikrodalga vakumlu kurutma işlemi uygulayarak atıştırmalıklar üretmiştir. Köprüalan (2019), yarım yağlı Beyaz peynirden farklı ön kurutma yöntemleriyle puf atıştırmalıklar üretmiş, ayrıca uygun ön işlem ve puf kurutma işlem koşullarının optimizasyonunu belirlemiştir. Diğer bir çalışmada ise blok tip Eritme peynirinden mikrodalga kurutma uygulanarak peynir cipsi üretimi yapılmıştır (Albay vd., 2021). Dil peynirinden üretilen hiçbir katkı maddesi içermeyen sadece şeker, stevia ve tuz ile üretilmiş herhangi bir cips üretimi üzerine çalışmaya rastlanmamıştır.

Isıl işleme (kızartma, fırınlama, kavurma gibi) tabi tutulan gıdalarda işlem sırasında yüksek sıcaklık (100-120 °C ve üzeri) etkisiyle nem içeriğinin düşmesi sonucu ortaya çıkan kimyasal bir bileşen olan akrilamid tespit edilmesi ile gıdalarda akrilamid oluşumu ilgi görmeye başlamış ve gıdalardaki varlığı incelenmeye başlanmıştır. Özellikle kızartma ve fırınlama uygulamalarından sonra akrilamid miktarı karbonhidratça zengin gıdalardan patates cipsinde (117-2762 pbb) fazla, proteince zengin gıdalardan süt ve süt ürünlerinde (<10-43 pbb) ise daha az bulunmuştur (Tareke vd., 2002; Petersen, 2003; Mestagh vd., 2007).

Cips gibi atıştırmalık gıdalar tuzlu, acılı, baharatlı, tatlı vb. üretilmekte ve farklı tüketici grupları tarafından tüketilmektedir. Cipsler tüketicilerde zamanla sağlık problemlerinin (kilo artışı, diyabet gibi) görülme başlangıcına neden olmuş, düşük şeker ve yağ içeriğine sahip gıdalara olan talebin artmasına yol açmıştır (Cadena ve Bolini, 2011). Bu nedenle araştırmacılar doğal, besleyici değeri yüksek organik şeker üretimi için meyvelere yönelmişlerdir (Özçelik vd., 2022). Stevia'nın doğal elde edilmesi, sakkarozdan 250-300 kat daha tatlı olması, toksik olmaması, yüksek sıcaklığa dayanıklı olması, ağızda metalimsi tat bırakmaması gibi özellikleri sayesinde birçok gıda üretiminde kullanılmaktadır (Soliman, 1997; Cortes vd., 2007).

Çalışmada cips hammaddesi olarak tüketici beğenisi kazanmış ve yüksek besin değerine sahip geleneksel peynirlerimizden olan Dil peyniri tercih edilmiştir. Dil peynirinden şekerli (Dil peyniri+sakkaroz), stevialı (Dil peyniri+stevia), tuzlu (Dil peyniri+tuz) ve kontrol (şeker, stevia ve tuz ilavesiz Dil peyniri) grupları oluşturularak cips üretim olanakları incelenmiş ve tüketici tercihlerine uygun, yeni, sağlıklı bir atıştırmalık ürün eldesi amaçlanmıştır. Ayrıca cipslerin bazı nitelikleri de (fiziko-kimyasal, akrilamid, fiziksel, mikrobiyolojik ve duyuusal) saptanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

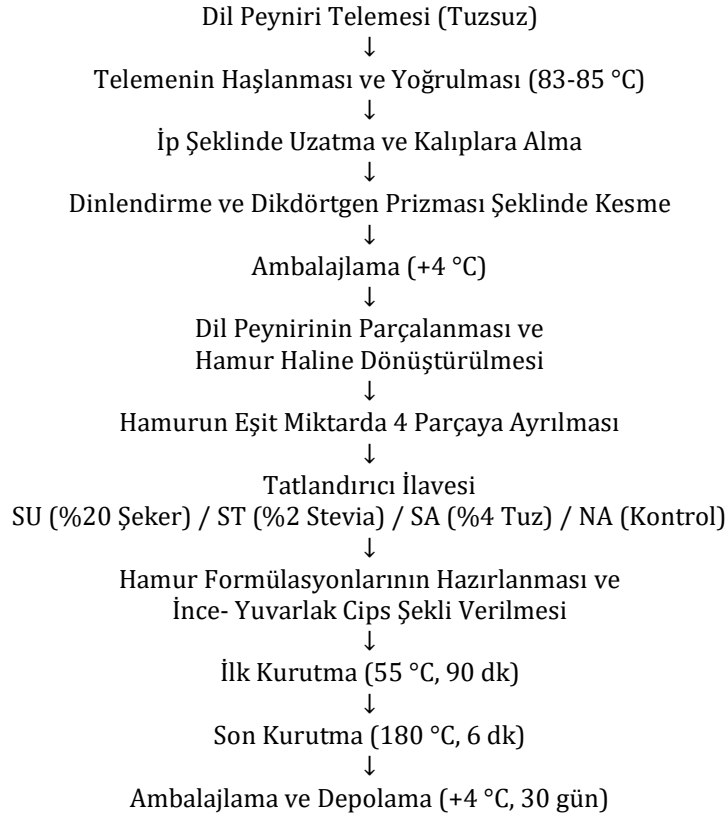
2.1. Materyal (Material)

Çalışmada kullanılan Dil peyniri telemesi Ünsüt Süt ve Süt Ürünleri (Isparta, Türkiye) İşletmesi'nden tedarik edilmiştir. Dil peyniri ve cips üretimi Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Laboratuvarında yapılmıştır. Tatlı ve tuzlu peynir cipslerini elde etmek için sakkaroz (Doğuş Toz Şeker, Afyon, Türkiye), stevia (Takita Stevia Tablet Tatlandırıcı, Bornova-İzmir, Türkiye) ve sofratuzu kullanılmıştır.

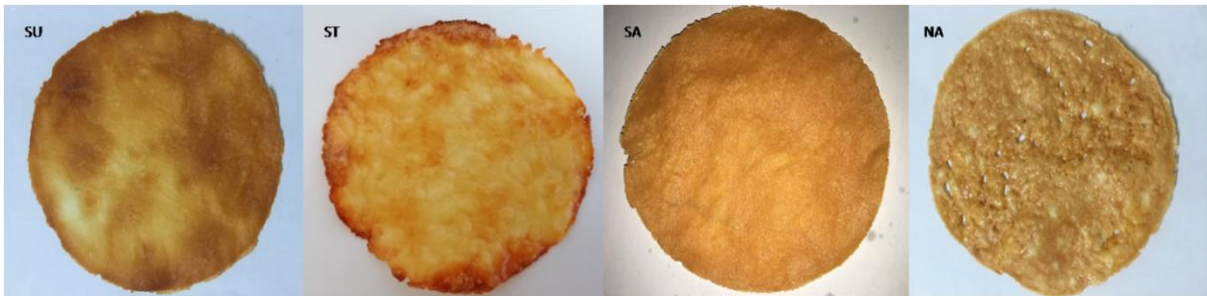
2.2. Yöntem (Method)

2.2.1. Dil Peyniri Cipsi Üretimi (Dil Cheese Chips Production)

Cips üretimi akış şeması Şekil 1’de verilmiştir. 3000 g Dil peyniri parçalanarak hamur haline dönüştürülmüş ve 4 eşit parçaya ayrılmıştır. Sırasıyla şekerli (%20-SU), stevialı (%2-ST), tuzlu (%4-SA) ve sade (kontrol-NA) cips hamuru formülasyonları hazırlanmıştır. Cips kalınlığına inceltile ve yuvarlak şekil verilen hamura kurutma fırınında (Wiseven, WOF-155, Korea) ilk (55 °C, 90 dk) ve son (180 °C, 6 dk) kurutma işlemleri uygulanmıştır. İşlem sonrası elde edilen cipslerin görünümleri Şekil 2’de verilmiştir. Cips örnekleri, şeffaf polietilen (PE) ambalajlar içerisine konularak vakumsuz paketlenmiş ve buzdolabı koşullarında (+4 °C) 30 gün boyunca depolanmıştır. Peynir cipslerinin fiziko-kimyasal, fiziksel, mikrobiyolojik ve duyu analizleri yapılmıştır. Çalışma üç tekerrür olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Dil peyniri ve cips üretim basamakları (Steps in the production of Dil cheese and chips)



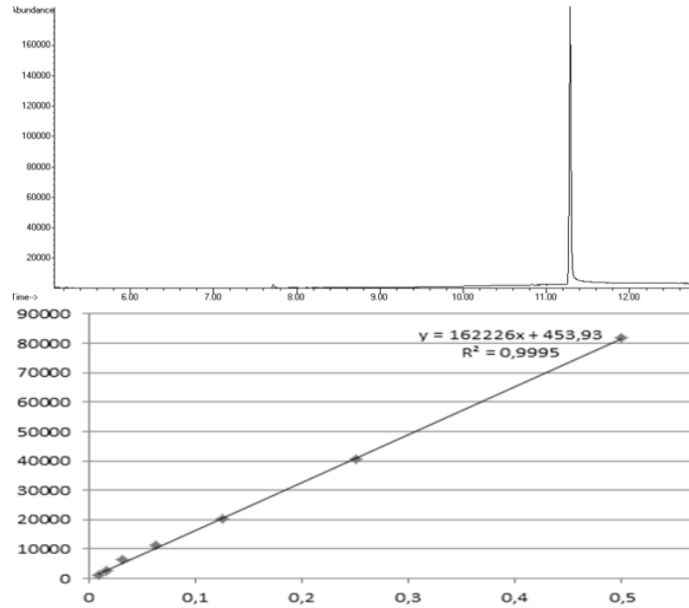
Şekil 2. Dil peyniri cips örnekleri: SU; şekerli, ST; stevialı, SA; tuzlu, NA; kontrol (Dil cheese chips samples: SU; sucrose, ST; stevia, SA; saline, NA; control)

2.2.2.Fiziko-kimyasal Analizler (Physicochemical Analysis)

Dil peyniri cipslerinde çap ve kalınlık ölçümü (Mitutoyo Dijital Kumpas, 0.001 mm, Tokyo, Japonya), kurumadde (%KM), su aktivitesi (a_w) (Novasina, Lab Touch-aw, Lachen, İsviçre), pH (Weilheim, Almanya) ve titrasyon asitliği (%LA) ölçümleri yapılmıştır (AACC, 2000; Anonim, 2006; 2011; AOAC, 1997). Peynir cipslerinin yağ içeriği Gerber yöntemiyle, protein içeriği Dumas yöntemiyle (Gerhardt Dumatherm, Almanya) tespit edilmiştir (Anonim, 2006; Dokuzlu, 2004).

2.2.3.Akrilamid Analizi (Acrylamide Analysis)

Örnek Hazırlama: 1 g homojenize peynir cipsi örneğinin üzerine 10 ml formik asit çözeltisi (0,1'lik) ilave edilerek santrifüj edilmiştir (0 °C, 20 dk). Katı çökeltiden ayrılan yağ tabakası uzaklaştırılmış sulu ekstraktan 2 ml alınarak 0.45 µm'lik filtreden süzölmüş ve CarboPrep™ 200 SPE tüpünden geçirilmiştir. Katı faz ekstraksiyon (SPE) tüpü yıkanmış ve vakumlanmıştır (1 ml su / 1 dk). SPE tüpünden 2 ml aseton geçirilmiştir. Oluşan süzöntü vialle alınarak GC-MS cihazında (Agilent 7890A, GC 5975C MS, 7693B Otosampler), MSDCHEM bilgisayar programı ve DB-Wax (30 m x 0.25 mm; film kalınlığı 0.2 µm) kolonu kullanılarak seçici iyon görüntüleme (Selected Ion Monitoring (SIM); $m/z=71$) modunda akrilamid analizi yapılmıştır (Biedermann vd., 2002). Analizde 60 °C'de, 1 dk bekleme sonrası dakikada 20 °C'lik artışlarla 240 °C'ye ulaşma ve 240 °C'de 20 dk bekleme kolon sıcaklık programı izlenmiştir. Ayrıca kromatografik şartlar; enjeksiyon hacmi; 1 µL, dedektör sıcaklığı; 240 °C, enjektör sıcaklığı; 250 °C ve taşıyıcı gaz; Helyum (He, 1 mL min⁻¹) olarak belirlenmiştir. Elde edilen standart kromatogram ve kalibrasyon grafiği Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Akrilamid kalibrasyon grafiği ve standart kromatogramı (Acrylamide calibration chart and acrylamide standard chromatogram)

2.2.4. Fiziksel Analizler (Physical Analysis)

2.2.4.1. Tekstür Analizi (Texture Analysis)

Cips örneklerinin tekstür analizi için Texture Stable Micro Systems (TA-XT Plus, İngiltere) cihazı kullanılmıştır. Ölçüm için her cips çeşidinden 2'şer adet alınarak, belirli prob hızı ve cips yüzeyi arası mesafede (1 mm/s ve 7 mm), Three Point Bend Rig probu ile üç nokta eğme testi yapılmıştır. Örneklerin sertlik (N) ve kırılmalık (mm) değerleri saptanmıştır.

2.2.4.2. Renk Analizi (Color Analysis)

Cips örneklerinin renk analizi ölçümünde Konica Minolta Chroma Meter CR-400 (Japonya) cihazı kullanılmıştır. Ölçüm her gruptan rastgele üç cips örneği seçilerek pişirme tepsinde üstte kalan yüzeyin 3 farklı noktasında yapılmıştır. Cihaz ekranında renk değerleri (L^* , a^* ve b^*) okunmuştur (Balaban, 2008).

2.2.5. Mikrobiyolojik Analizler (Microbiological Analysis)

Cipslerin koliform içeriğini belirlemede EMB (Eosin Methylen Blue Agar, Merck, Darmstadt Almanya); maya-küf içeriğini belirlemede ise PDA (Patato Dextrose Agar, Merck, Darmstadt Almanya) kullanılmıştır (Marshall, 1992; Gürgün ve Halkman, 1990).

2.2.6. Duyusal Analiz (Sensorial Analysis)

Duyusal analiz için peynir cipsleri 3 basamaklı sayılarla kodlanarak 4 çeşit Dil peyniri cipsi tek bir tabakta olacak şekilde panelistlere bir bardak su verilmiştir. Cipsler 10 panelist tarafından renk-görünüş, yapı-gevreklik, tat-koku parametrelerinde 1-5; genel kabul edilebilirlik parametresinde ise 1-9 aralığında puanlanarak değerlendirilmiştir (Lawless ve Heymann, 2010).

2.2.7. İstatistiksel Analiz (Statistical Analysis)

Araştırmanın istatistik değerlendirmesi, SPSS 22.0 istatistik programı kullanılarak Tukey ($p<0.05$) çoklu karşılaştırma analizi ile yapılmıştır (Winer vd., 1991).

3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma (Experimental Results and Discussion)

3.1. Dil Peyniri Cipslerinin Fiziko-kimyasal Nitelikleri (Physicochemical Characteristics of Dil Cheese Chips)

Tablo 1’de verilen bulgular incelendiğinde, cips örneklerinin kalınlıkları 0.04-0.10 mm ve çapları 3.29-3.63 mm aralığında olduğu görülmektedir. Peynir cipslerinin kalınlık ve çap değerlerinin depolamadan etkilenmediği fakat tatlandırıcılardan etkilendiği belirlenmiştir ($p<0.05$). Örneklerin literatürdeki cipslere göre daha ince olduğu saptanmıştır (Hendek Ertop vd., 2016). Literatürde şeker ve stevia ikameli bisküvi çalışmalarında stevianın kalınlığı arttırdığı ve çapını azalttığı bildirilmiştir (Kulthe vd., 2014; Yıldız, 2019). Yapılan diğer çalışmalarda stevia tozunun nem tutma kapasitesinin olduğu belirtilmektedir (Özcan ve Çetin Babaoğlu, 2017; Elsebai ve Sahar, 2018). Bu da ürün içindeki nemin, kurutma sonrasında kaybına ve hacim azalmasına sebep olabileceği düşünülmektedir. Çalışmamızda ST örneğinde benzer durum görülmüştür.

Cipslerin kurumadde miktarının depolamadan etkilendiği görülmüş ($p<0.05$) ve örneklerin nem çektiği düşünülmüştür (Tablo 1). Örneklerin kurumadde değeri %94.89-97.50 aralığında olup literatürle benzerlik göstermektedir (Yüksel, 2014; Albay vd., 2021). Salvador vd. (2009) tarafından kurumadde içeriği yüksek olan cipslerin gevrekliklerinin ve tekstürel özelliklerinin daha iyi olduğu belirtilmiştir. Bu durum Dil peyniri cipslerinde de gözlenmiştir.

Cips örneklerinin su aktivitesi değerleri (a_w) arasında istatistiksel fark olmasa da en düşük su aktivitesi değeri (a_w) ST (0.33) örneğinde, en yüksek SU (0.47) örneğinde belirlenmiştir ($p>0.05$) (Tablo 1). Daha önceden yapılan çalışmalara göre su aktivitesi (a_w) değerinin sakkaroz, tuz gibi su tutucu maddelerden etkilendiği bildirilmektedir (Gabriel, 2008). Fakat çalışmamızda stevianın, sakkaroz ve tuza göre nispeten daha fazla su tuttuğu ve su aktivitesi değerini kısmen azalttığı tespit edilmiştir. Örneklerin su aktivitesi değerinin Eritme peynir cipsi ile benzer olduğu saptanmıştır (Albay vd., 2021).

Yapılan ölçümler sonucunda kurutma öncesi Dil peynirinin pH değeri 5.15 iken kurutma sonrası artmış, 5.18-5.61 aralığında tespit edilmiştir (Tablo 1). Cipslerin pH değerleri arasında istatistiksel fark olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Literatürde kurutma sonrası Cheddar peynirinin pH’ı 5.50 bulunmuştur (Rakcejeva vd., 2009). SA örneğinde benzer bulguya rastlanmıştır.

Kurutma öncesi Dil peynirinin %LA değeri %1.18 bulunmuş, kurutma sonrası SU ve NA örneklerinde asitlik değerinin azaldığı, ST ve SA örneklerinde ise arttığı gözlenmiş ve farklı çeşit cipslerin asitlik değerleri arasında anlamlı bir farkın olduğu görülmüştür ($p<0.05$) (Tablo 1). Cipslerin asitlik değeri Eritme peynir cipslerinden daha düşük tespit edilmiştir (Albay vd., 2021).

Dil peynirinin kurutma öncesi yağ oranı %25.17 olarak saptanmıştır. Tablo 1’de kurutma sonrası SU örneğinde yağ oranının azaldığı, diğerlerinde (ST, SA, NA) arttığı ve cipsler arasında istatistiksel fark olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Bu durumun şekerin kurumaddeyi artırması sonucu meydana geldiği düşünülmektedir. Literatürde Cheddar peynirinin kurutma öncesi yağ içeriğinin %39.1 olduğu belirlenmiş, işlem sonrası 1.2 kat azaldığı

bulunmuştur (Rakcejeva vd., 2009). Araştırmacılar, kurutma işlemi sırasında yağın kısmen erimesi ve bunun sonucunda peynirden salınan ve plastik silindirin iç duvarlarına yerleşen yağın bir kısmı ile yağ oranının azalabileceğini ifade etmektedirler. Diğer bir çalışmada yarım yağlı Beyaz peynirlerin puf kurutulmasıyla yağ içeriği %23-26.2 aralığında belirlenmiştir (Köprüalan, 2019). Albay vd. (2021), tarafından yapılan çalışmada farklı mikrodalga güç ve sürelerinde blok Eritme peynirinden üretilen cipslerin yağ oranı %33 bulunmuştur. Dil peyniri cipslerinin yağ içeriği Albay vd. (2021), çalışmasıyla benzerlik göstermektedir.

Çalışmada 30. günde SU örneğinin protein değeri artarken (Tablo 1); diğer örneklerde (ST, SA ve NA) azalmış ve cipsler arasında istatistiksel fark görülmüştür ($p<0.05$). NA örneğinin protein içeriğinin(%56.85) yüksek olduğu, SU örneğinin ise nispeten daha düşük protein içeriğine (%38.48) sahip olduğu saptanmıştır. Turan, (2019) tarafından bisküvi üzerine yapılan bir çalışmada, stevia ilavesinin ürün protein içeriğine etkisinin olmadığı belirtilmektedir. Bu sonuca benzer bir durum çalışmamızda ST örneğinde gözlenmiştir. Önceki çalışmalarda Dil peynirlerinde protein miktarı %24.62-25.09 aralığında bulunmuştur (Kılıç ve Işın, 2004; Uysal, 2008). Çalışmamızda kurutma işleminin cipslerin protein değerini etkileyerek artışa neden olduğu görülmüştür. Bu durum Rakcejeva vd. (2009), çalışması ile desteklenmektedir. Benzer şekilde, Chudy vd. (2019), Harzer peynirinden üretilen puf atıştırma malıkların mikrodalgada vakum kurutma sırasında protein içeriğinin 2.9 kat artarak %81.9 düzeyine ulaştığını belirlemişlerdir. Dil peyniri cipslerinin protein içeriği bu bulgunun altında saptanmıştır.

Tablo 1. Dil peyniri cipslerinin fiziko-kimyasal sonuçları (n=3) (Physicochemical results of Dil cheese chips)

Fiziko-kimyasal Analizler	Cips Örnekleri†	Depolama Süresi (gün)*	
		1	30
Kalınlık (mm)	SU	0.09±0.01 ^{ab}	0.07±0.01 ^{a-c}
	ST	0.06±0.01 ^{bc}	0.06±0.02 ^c
	SA	0.10±0.01 ^a	0.10±0.01 ^a
	NA	0.05±0.01 ^c	0.04±0.01 ^c
Çap (mm)	SU	3.51±0.07 ^{ab}	3.51±0.07 ^{ab}
	ST	3.34±0.09 ^{bc}	3.34±0.09 ^{bc}
	SA	3.63±0.05 ^a	3.63±0.05 ^a
	NA	3.29±0.01 ^c	3.29±0.01 ^c
%KM	SU	95.22±0.45 ^{ab}	94.89±0.72 ^b
	ST	97.50±0.23 ^a	97.13±0.04 ^{ab}
	SA	96.50±0.42 ^{ab}	95.18±0.79 ^{ab}
	NA	97.48±0.26 ^{ab}	96.50±0.58 ^{ab}
Su aktivitesi (a_w)**	SU	0.39±0.03	0.47±0.12
	ST	0.33±0.12	0.43±0.16
	SA	0.37±0.13	0.39±0.02
	NA	0.36±0.03	0.40±0.03
pH	SU	5.21±0.10 ^d	5.52±0.03 ^{ab}
	ST	5.18±0.08 ^d	5.53±0.22 ^{ab}
	SA	5.32±0.03 ^{b-d}	5.50±0.04 ^{a-c}
	NA	5.24±0.01 ^d	5.61±0.13 ^a
%LA	SU	0.92±0.07 ^{fg}	0.76±0.10 ^g
	ST	1.32±0.11 ^{ab}	0.95±0.06 ^{ef}
	SA	1.38±0.04 ^a	1.12±0.00 ^{c-e}
	NA	1.17±0.04 ^{b-d}	1.00±0.05 ^{d-f}
%Yağ	SU	22.33±0.58 ^b	24.00±1.00 ^b
	ST	33.00±1.00 ^a	34.33±0.58 ^a
	SA	33.00±1.00 ^a	34.00±1.00 ^a
	NA	32.50±0.50 ^a	34.50±0.50 ^a
Protein	SU	38.48±0.26 ^b	41.83±1.27 ^{ab}
	ST	49.67±0.79 ^{ab}	49.45±3.22 ^{ab}
	SA	51.82±0.32 ^{ab}	49.69±0.71 ^{ab}
	NA	56.85±0.07 ^a	56.03±0.63 ^a
Akrilamid (ppm)	SU	0.297±0.024 ^{a-c}	0.297±0.042 ^{a-c}
	ST	0.296±0.039 ^{a-c}	0.295±0.012 ^{a-c}
	SA	0.263±0.015 ^{ab}	0.264±0.059 ^{ab}
	NA	0.210±0.048 ^a	0.206±0.010 ^a

*a-c: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiksel fark bulunmaktadır ($p<0.05$).

** : Harflendirme yapılmayan değerler arasında istatistiksel fark bulunmamaktadır ($p>0.05$).

†SU; şeker ilaveli, ST; stevia ilaveli, SA; tuz ilaveli, NA; kontrol.

3.2. Akrilamid İçerikleri (Acrylamide Contents)

Tablo 1’de de görüldüğü gibi, cipslerin akrilamid değerleri arasında istatistiksel fark bulunmuş ($p<0.05$) ve SU örneğinin yüksek akrilamid içeriğine (0.297 ppm) sahip olduğu görülmüştür. Bu durumun Maillard reaksiyonu etkisiyle gerçekleştiği düşünülmektedir. Ayrıca depolama sırasında akrilamid içeriğindeki azalmanın cipslerin nem içeriğinin artmasına bağlı olarak kurumadde içeriğinin değişmesi ve ürün bileşimindeki miktarın değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde buğday, çavdar ve patates unlarıyla yapılan keklerde ve bisküvilerde oluşan akrilamid miktarıyla nem miktarının ters orantılı olduğu bulunmuştur (Elmore vd., 2005; Summa vd., 2006). Ülkemizde yapılan bir çalışmada piyasada satılan kraker, bisküvi ve bebek bisküvilerinde ortalama akrilamid düzeyleri sırasıyla 604, 495 ve 153 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olarak bulunmuştur (Boyacı Gündüz vd., 2017). Avrupa Birliği tarafından gıdalarda akrilamid üst sınırı 35 $\mu\text{g}/\text{gün}$ olarak belirlenmiştir. (Stadler vd., 2002). Dil peyniri cipslerinin akrilamid içeriğinin bebek bisküvilerine göre yüksek fakat bisküvi, kraker ve patates cipslerine (0.117-2.762 ppm) göre daha düşük olduğu saptanmıştır (Petersen, 2003).

3.3. Dil Peyniri Cipslerinin Fiziksel Nitelikleri (Physical Characteristics of Dil Cheese Chips)

3.3.1. Tekstür Değerleri (Texture Values)

Tablo 2 incelendiğinde peynir cipslerinin sertlik ve kırılma değeri arasında istatistiksel fark görüldüğü anlaşılmaktadır ($p<0.05$). Depolamanın ilk gününde SU örneğinin diğer örneklerle (ST, SA, NA) göre düşük sertlik değerine sahip olduğu saptanmıştır. Farkın sakkarozun yumuşatıcı etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde şekerin stevia ile birlikte kullanıldığı bisküvi ve yöresel kurabiye örneklerinde %100 şekerli örneğin sertlik değerinin %100 stevalı örneğe göre daha yüksek olduğu ve stevianın sertlik değerini azalttığı belirtilmiştir (Ulusoy, 2011; Turan, 2019). Çalışmamızda SU ve ST örnekleri arasında tam tersi durum gözlenmiştir. Diğer çalışmalarda patates cipsinin sertliği 2.0-3.0 N; tarhana cipsinin sertliği 1.28-9.59 N; Eritme peynirinden üretilen cipslerin sertliği 384.66-520.92 g (3.77-5.11 N) aralığında bulunmuştur (Garayo ve Moreira, 2002; Özçam, 2012; Albay vd., 2021). Örneklerin sertlik değerinin cips tarhana değerleri aralığında olduğu ve Eritme peynir cipsleri kadar sert olmadığı belirlenmiştir. Cipslerin kırılma değeri 29.25-33.91 mm aralığında saptanmıştır. SA örneğinde kırılma değeri yüksek olmasında tuzun etkili olduğu düşünülmektedir. ST örneğinin kırılma değeri NA örneği ile benzerlik göstermektedir. Literatürde bisküvilerde ve kurabiyelerde stevia ilavesinin kırılma değeri üzerine etkisinin önemli olmadığı bildirilmiştir (Giritoğlu, 2017; Turan, 2019). Önceki çalışmalarda Harzer peynirinden üretilen puf atıştırmalıkların kırılma değeri 3.20-10.00 mm; Eritme peyniri cipslerinin kırılma değeri 36.59-37.27 mm aralığında tespit edilmiştir (Chudy vd., 2019; Albay vd., 2021). Dil peyniri cipslerinin kırılma değeri puf atıştırmalıklara göre daha yüksek, Eritme peynir cipslerine göre daha düşük bulunmuştur.

Tablo 2. Dil peyniri cipslerinin tekstürel özellikleri ve renk analiz sonuçları (n=3) (Textural properties and color analysis results of Dil cheese chips)

Fiziksel Analizler	Cips Örnekleri†	Depolama Süresi (gün)*	
		1	30
Sertlik (N)	SU	1.84±1.00 ^{c-e}	1.53±0.20 ^{de}
	ST	3.64±0.18 ^{ab}	2.21±0.93 ^{c-e}
	SA	4.19±0.40 ^a	2.93±0.13 ^{a-d}
	NA	3.10±0.14 ^{a-c}	2.26±0.19 ^{b-e}
Kırılma (mm)	SU	30.93±0.95 ^{cd}	30.27±0.75 ^d
	ST	29.42±0.46 ^d	33.28±1.07 ^{ab}
	SA	33.91±0.00 ^a	32.97±0.86 ^{a-c}
	NA	29.25±1.18 ^d	32.93±0.70 ^{a-c}
L^*	SU	43.56±0.52 ^e	48.06±0.81 ^d
	ST	44.81±1.25 ^e	54.62±0.88 ^b
	SA	53.82±0.42 ^{bc}	51.91±0.98 ^c
	NA	52.95±0.92 ^{bc}	57.51±0.80 ^a
a^*	SU	17.72±0.76 ^a	14.69±0.99 ^{b-d}
	ST	16.65±0.22 ^{ab}	14.65±0.94 ^{cd}
	SA	14.59±0.53 ^{cd}	12.38±0.63 ^e
	NA	14.85±0.61 ^{b-d}	11.84±0.18 ^e
b^*	SU	23.86±0.37 ^{de}	22.83±0.26 ^c
	ST	27.40±0.51 ^c	24.87±0.75 ^d
	SA	32.70±0.85 ^a	29.38±0.56 ^b
	NA	29.86±0.19 ^b	26.52±0.48 ^c

*a-e: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiksel fark bulunmaktadır ($p<0.05$).

†SU; şeker ilaveli, ST; stevia ilaveli, SA; tuz ilaveli, NA; kontrol.

3.3.2. Renk Değerleri (Color Values)

Peynir cipslerinin renk ölçümü sonucu kaydedilen parlaklık (L^*), kırmızılık (a^*) ve sarılık (b^*) değerleri Tablo 2'de verilmiş ve cipsler arasında istatistiksel farkın olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Depolamanın etkisiyle parlaklık değerinin SU, ST ve NA örneklerinde arttığı, SA örneğinde azaldığı gözlenmiştir. L^* değeri en yüksek NA örneğinde (57.51); en düşük SU örneğinde (43.56) tespit edilmiştir. Bunun nedeninin, yapıdaki şekerin Maillard reaksiyonu etkisiyle cips yüzeyinde matlaşma meydana getirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca ST örneğinin SU örneğinden daha parlak olduğu görülmüştür. Bu durum literatürle benzerlik göstermektedir (Turan, 2019). NA ve SA örneklerinin L^* değeri literatürdeki bulgularının altında saptanmıştır (Özçam, 2012; Chudy vd., 2019). Depolamanın ilk gününde a^* (kırmızı) değerinin sakkaroz ve stevia etkisiyle SU ve ST örneklerinde, SA ve NA örneklerine göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu durumun SU örnekte Maillard reaksiyonu etkisi ile gerçekleştiği; ST örnekte ise stevianın aminoasit grubuyla tepkimeye girmemesi ve indirgenmemesinden dolayı Maillard reaksiyon oluşumunun gerçekleşmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışmamızda cips örneklerinin a^* değerinin, literatürdeki araştırma bulgularına göre yüksek olduğu belirlenmiştir (Özçam, 2012; Albay vd., 2021). Cipslerin b^* (sarı) değerleri incelendiğinde 1. depolama gününde en fazla SA örneğinde (32.70), en az SU örneğinde (23.86) bulunmuştur. ST ve SU örneklerinin b^* değeri Turan (2019) çalışmasıyla benzerlik göstermektedir. Literatürde buğday cipslerinin sarılık değeri 26.67; Harzer peynirinden elde edilen puf atıştırılmalıkların ise 20.54 olarak belirlenmiştir (Cankurtaran, 2008; Chudy vd., 2019). SA ve NA örneklerinin sarılık değeri literatürdeki çalışmaların üzerinde belirlenmiş olup; duyuşal olarak arzu edilen sarılıkta oldukları panelistler tarafından da desteklenmiştir.

3.4. Koliform ve Maya-Küf Gelişimi (Coliform and Yeast-Mold Growth)

Mikrobiyolojik analizler sonucunda üretilen peynir cipslerinde depolama süresince koliform ve maya-küf grubu bakterilerin oluşumu gözlenmemiştir. Bu durum Dil peyniri ve cips üretiminin hijyenik koşullarda yapıldığını göstermektedir.

3.5. Duyusal değerlendirme (Sensorial Evaluation)

Dil peyniri cipslerinin duyuşal değerlendirme sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde peynir cipsleri arasında istatistiksel fark olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Renk-görünüş parametresinde en fazla beğeniyi SA ve NA örnekleri almıştır. Depolama süresince cipslerin renk-görünüş değerlerinin azaldığı görülmüştür. Cipslerin yapı-gevreklik değerleri depolamayla SU, ST ve NA örneklerinde azalmış, SA örneğinde ise artmıştır. SA ve NA örneklerinin yapı-gevreklik özelliği panelistler tarafından yüksek puanlanırken nispeten ST örneği de yüksek puanlanmıştır. Cips örneklerinin tat-koku puanlaması en az ST (1.90) örneği için en fazla SA (4.80) örneği için yapılmıştır. Fakat depolamanın ilk gününde ST örneği tat ve koku açısından daha fazla beğeni toplamıştır. Cipslerin genel kabul edilebilirliği SA örneği için yüksek puanlanırken, SU örneği için düşük puanlanmıştır. Şekerli ve stevialı cips örnekleri, tuzlu cips örneklerine göre daha az beğeni alsa da özellikle ST örneği duyuşal açıdan SU örneğine göre daha çok beğeni almıştır.

Tablo 3. Peynir cipslerinin duyuşal değerlendirme sonuçları (n=3) (Sensorial analysis results of cheese chips)

Duyuşal Analiz Parametreleri	Cips Örnekleri†	Depolama Süresi (gün)*	
		1	30
Renk-Görünüş	SU	3.10±1.10 ^{a-d}	2.40±0.40 ^d
	ST	3.50±1.10 ^{a-c}	2.40±0.40 ^{cd}
	SA	4.80±0.20 ^a	4.40±0.40 ^a
	NA	4.20±0.40 ^{ab}	3.20±0.20 ^{a-c}
Yapı-Gevreklik	SU	3.10±0.50 ^{cd}	2.20±0.20 ^d
	ST	4.25±0.15 ^{ab}	3.90±0.10 ^{a-c}
	SA	4.55±0.05 ^a	4.70±0.30 ^a
	NA	4.75±0.25 ^a	3.30±0.30 ^{bc}
Tat-Koku	SU	3.15±0.25 ^{b-d}	3.10±0.10 ^{b-d}
	ST	3.95±0.25 ^{a-c}	1.90±0.90 ^d
	SA	4.80±0.20 ^{ab}	4.60±0.40 ^{ab}
	NA	4.10±0.10 ^{a-c}	3.70±0.30 ^{a-c}
Genel Kabul Edilebilirlik	SU	3.90±0.10 ^d	4.90±0.10 ^{cd}
	ST	5.95±0.85 ^c	5.30±0.70 ^{cd}
	SA	8.35±0.05 ^a	8.25±0.05 ^a
	NA	6.35±0.15 ^{bc}	6.30±0.30 ^{bc}

*a-d:Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasında istatistiksel fark bulunmaktadır ($p<0.05$).

†SU; şeker ilaveli, ST; stevia ilaveli, SA; tuz ilaveli, NA; kontrol.

4. Sonuç (Result)

Atıştırmalık gıdaların çok fazla tüketildiği, genellikle hububat kökenli, kızartılmış, besleyici değeri düşük, yüksek yağ ve karbonhidrat içerikli ürünler olduğu bilinmektedir. Bu yüzden çalışmamızda proteince zengin ve besleyici değeri yüksek Dil peynirinden sade (kontrol) ve farklı tatlandırıcı (sakkaroz, stevia, tuz) ilaveli cips elde etme olanakları araştırılmış ve bazı özellikleri (fiziko-kimyasal, akrilamid, fiziksel, mikrobiyolojik, duyuşal) belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda Dil peynirinden tatlandırıcı dışında hiçbir katkı maddesi eklenmeksizin, akrilamid içeriği düşük, protein içeriği yüksek, tüketici tarafından arzu edilen tat ve tekstüre sahip sağlıklı bir atıştırmalık eldesi sağlanmıştır. Şekerli ve stevalı örnekler alışılmışın dışında olsa da duyuşal açıdan panelistler tarafından kabul görmüş; tuzlu, kontrol, stevia ve şekerli şeklinde beğeni sıralaması oluşturulmuştur. En çok beğenilen cips çeşidi tuzlu örnek grubu olmuştur.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 4860-YL1-17 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- AACC (American Association of Cereal Chemists), 2000. Approved Methods of the AACC The Association St. Paul.
- Albay, Z., İşleyen, T., Yıldırım, Y., Şimşek, B., 2021. Blok Tip Eritme Peynirinden Üretilen Cipslerin Bazı Özellikleri. Akademik Gıda, 19(2), 177-184.
- Anonim, 2006. TS 3002, Dil Peyniri Standardı. TSE, I. Baskı, Ankara.
- Anonim, 2011. 541G10082, Gıdalarda Nem ve Kuru Madde Tayini. Milli Eğitim Bakanlığı, 33s. Ankara.
- AOAC, 1997. Official Methods of Analysis (16th ed.) Association of Official Analytical Chemists Washington DC.
- Balaban M.O., 2008. Quantifying Nonhomogeneous Colors in Agricultural Materials Part I: Method Development. Journal of Food Science, 73, 431-437.
- Biedermann, M., Biedermann-Brem, S., Noti, A., Grob, K., 2002. Methods for Determining the Potetional Formation and Its Elimination in Raw Materials for Food Preparation, Such As Potatoes. Mitteilungen aus Lebensmittel untersuchung und Hygiene, 93, 653-667.
- Boyacı Gündüz, C.P., Bilgin, A.K., Cengiz, M.F., 2017. Acrylamide Contents of Some Commercial Crackers, Biscuits and Baby Biscuits. Akademik Gıda, 15(1), 1-7.
- Cadena, R.S., Bolini, H. M. A., 2011. Time-Intensity Analysis and Acceptance Test for Traditional and Light Vanilla Ice Cream. Food Research International, 3(44), 677-683.
- Cankurtaran, M., 2008. Kızartılmış Buğday Cipsi Üretimi ve Elde Edilen Buğday Cipslerinin Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 74s. Kayseri.
- Chudy, S., Makowska, A., Piatek, M., Krzywdzinska-Bartkowiak, M., 2019. Application of Microwave Vacuum Drying for Snack Production: Characteristics of Pure Cheese Puffs. International Journal of Dairy Technology, 72(1), 82-88.
- Cortes, R., Hernandez-Ceruelos, A., Torres-Valencia, JM., Gonzalez-Avila M., Arriaga Alba, M., Mmadrigal-Bujaidar, E., 2007. Antimutagenicity of Stevia Pilosa and Stevia Eupatoria Evaluated with the Ames Test. Toxicology in vitro, 21(4), 691-697.
- Dokuzlu C., 2004. Gıda Analizleri. Marmara Kitapevi, 295s. Bursa.
- Elmore, J.S., Koutsidis, G., Dodson, A.T., Mottram, D.S., Wedzicha, B.L., 2005. Measurement of Acrylamide and its Precursors in Potato, Wheat, and Rye Model Systems. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53, 1286-1293.
- Elsebaie, E. M., Sahar, M. I. M., 2018. Utilization of Stevia Leaves Powder in Reduced Calorie Cake. Journal of Food and Dairy Sciences, Mansoura University, 9 (2), 83-86.
- Ertekin Filiz, B., 2015. Elma Cipsinin Bazı Kalite ve Antioksidan Özelliklerine Kurutma, Ambalajlama ve Depolamanın Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 176s. Isparta.
- Gabriel, A.A., 2008. Estimation of Water Activity from pH and °Brix Values of Some Food Products. Food Chemistry, 108, 1106-1108.
- Garayo, J., Moreira, R., 2002. Vacuum Frying of Potato Chips. Journal of Food Engineering, 55, 181-191.
- Giritoglu, E., 2017. Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ve Şeker Otu (*Stevia rebaudiana* Bertoni) Kullanılarak Yeni Bisküvi ve Kek Formülleri Geliştirme Üzerine Bir Araştırma. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Ortak Yüksek Lisans Programı, Yüksek Lisans Tezi, 111s. Osmaniye.
- Gürgan, V., Halkman A.K., 1990. Mikrobiyolojide Sayım Yöntemleri. Gıda Teknolojisi Yayınları, Yayın No:7, 146s. Ankara.
- Hendek Ertop, M., Kutluk K., Coşkun, K., Canlı, S., 2016. Gıda Endüstrisi Yan Ürünleri Kullanımıyla Cips Üretimine Yeni Bir Yaklaşım: Zenginleştirilmiş Gluten Cipsi. Akademik Gıda, 14 (4), 398-406.
- Kılıç, M., Işın, T. G., 2004. Effect of Salt Level and Storage on Texture of Dil Cheese. Journal of Texture Studies, 35(3), 251-262.

- Köprüalan, Ö., 2019. Puf Kurutma Yöntemi ile Protein İçeriği Yüksek Atıştırmalık Beyaz Peynir Üretimi: Uygun Ön İşlem Koşullarının Belirlenmesi, Puf Kurutma İşlem Koşullarının Optimizasyonu. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 160s. İzmir.
- Kulthe, A.A., Pawar, V.D., Kotecha, P.M., Chavan, U. D., Bansode, V.V., 2014. Development of High Protein and Low Calorie Cookies. *Journal of Food Science and Technology*, 51(1), 153-157.
- Lawless, H.T., Heymann, H., 2010. *Sensory Evaluation of Food Principles and Practices*. 2nd ed. XXIII, ISBN 978-1-4419-6488-5.
- Marshall R.T., 1992. *Standard Methods for the Examination of Dairy, Products*, 16th ed., APHA Inc., New York.
- McCarthy, A.J., 2001. *The Snack Industry: History, Domestic and Global Status*. *Snack Foods Processing*, CRC Press, 29-35.
- Mestagh, F., Meulenaer, B.D., Peteghem, C.V., 2007. Influence of Oil Degradation on The Amounts of Acrylamide Generated in A Model System and in French Fries. *Food Chemistry*, 100, 1153-1159.
- Nor, N. M., Carr, A., Hardacre, A., Brennan, C. S., 2013. The Development of Expanded Snack Product Made From Pumpkin Flour-Corn Grits: Effect of Extrusion Conditions and Formulations on Physical Characteristics and Microstructure. *Foods*, 2(2), 160-169.
- Özcan, M.M., Çetin Babaoğlu, H., 2017. The Effect of Replacing Sucrose with Stevia (*Stevia rebaudiana*) Leaf Powder and Extract on Some Pysicochemical Properties of Cakes. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 23 (3), 181-187.
- Özçam, M., 2012. *Cips Tarhananın Tekstürel ve Mikrobiyolojik Özelliklerinin Belirlenmesi*. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76s. Manisa.
- Özçelik, M.M., Duman, B., Özkan, G., (2022). Organik Pekmezlerden Jeli Şeker Üretimi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(2), 371-379.
- Perez-Tinoco, R.M., Perez, A., Salgado-Cervantes, M., Reynes, M., Vaillant F., 2008. Effect of Vacuum Frying on Main Physicochemical and Nutritional Quality Parameters of Pineapple Chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 945-953.
- Petersen, B., 2003. *Acrylamide: Formation, Exposure, Possible Reduction Strategies*. Presentations at the US FDA Food Advisory Committee Meetings.
- Rakcejeva T., Zagorska J., Dukalska L., Galoburda R., Eglitis E., 2009. Physical-Chemical and Sensory Characteristics of Cheddar Cheese Snack Produced in Vacuum Microwave Dryer. *Chemine Technologija*, 3(52), 16-20.
- Salvador, A., Varela, P., Sanz, T., Fiszman, S. M., 2009. Understanding Potato Chips Crispy Texture by Simultaneous Fracture and Acoustic Measurements, and Sensory Analysis. *Food Science and Technology*, 42, 763-767.
- Soliman, M., 1997. *Stevia Plant, Natural Concentrated Sweetenes*. Egyptian Society of Sugar Technologists, 28th Annual Conference, December 2-4.
- Sothornvit, R., 2011. Edible Coating and Cost-Frying Centrifuge Step Effect on Quality of Vacuum-Fried Banana Chips. *Journal of Food Engineering*, 107, 319-325.
- Stadler, R.H., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P.A., Robert, M.C., Riediker, S., 2002. Acrylamide from Maillard Reaction Products. *Nature* 419(3), 449-450.
- Sulaeman A., Keler L., Giraud W. D., Taylor L. S., Driskell A. J., 2003. Changes in Carotenoid, Physicochemical and Sensory Values of Deep-Fried Carrot Chips During Storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 603-613.
- Summa, C., Wenzl, T., Brohee, M., De La Calle, B., Anklam, E., 2006. Investigation of the Correlation of the Acrylamide Content and the Antioxidant Activity of Model Cookies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 853-859.
- Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., Toemqvist, M., 2002. Analysis of Acrylamide, A Carcinogen Formed in Heated Foodstuffs. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 4998-5006.
- Turan, Ş. B., 2019. *Stevia İkamesinin Farklı Tip Un Kombinasyonlarıyla Birlikte Gaziantep Kahkesinin Kalite Özelliklerine Etkisi*. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66s. Şanlıurfa.
- Ulusoy, S., 2011. *Stevia ile Tatlandırılmış Bisküvilerin Kalite Özellikleri ve Akrilamid İçeriğinin Belirlenmesi*. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65s. Mersin.
- Uysal, Ş., 2008. *Dil Peyniri Üretiminde Doğal Termofilik Peyniraltı Suyu (PAS) Kültürünün Kullanım Olanığının Araştırılması*. Harran Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s. Şanlıurfa.
- Winer, B. J., Brown, D.R., Michels, K.M., 1991. *Statistical Principles in Experimental Design*. Third Edition. Boston, Massachusetts Burr Ridge. Illinois. ISBN 0-07-070982-3, p.1057.
- Yıldız, E., 2019. *Glutensiz Bisküvi Üretiminde Badem Unu ve Stevya Kullanımı*. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 89s. Bursa.
- Yüksel, F., 2014. *Bayat Ekmeğin Kızartılmış Buğday ve Mısır Cipsinde Kullanımı*. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 198s. Kayseri.



TIBBİ VERİ KÜMELERİNDE GENETİK ALGORİTMALARLA ÖZELLİK SEÇİMİ VE SINIFLANDIRMA BAŞARIMINA ETKİSİ

Ömer DEPERLİOĞLU*

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Özellik Seçimi,
Genetik Algoritmalar,
Tıbbi Veri Kümeleri,
Özellikler Alt Kümesi,
Tıbbi Sınıflandırma.

Öz

Günümüzde çok büyük boyuttaki tıbbi veri tabanlarından, klinik karar destek sistemlerinin faydalı bilgiler elde etmesi oldukça zorlaşmıştır. Genetik algoritmalar (GA) yaygın olarak kullanılan bir özellik seçme yöntemidir ve en iyi çözümleri verebilir. Bu çalışmada, çok sayıda karmaşık verilere sahip olan tıbbi verilerden özellik seçimi yapmak ve en uygun özellik alt kümesini oluşturarak sınıflandırma başarısını artırmak için GA içeren bir model önerilmiştir. Önerilen yöntemin performansını değerlendirmek için çalışmada en çok bilinen ve rahatlıkla ulaşılabilen 5 tıbbi veri kümesi ve 7 farklı denetimli sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Her veri kümesi ile her sınıflandırıcı için ayrı ayrı özellik seçimi ve sınıflandırma uygulamaları yapılmıştır. Bu uygulamalarda elde edilen sonuçlar, önerilen yaklaşımla yapılan sınıflandırmalarda, veri kümesine bağlı olarak, Doğruluk oranında dolayısıyla makine öğrenmesi modeli performansında ortalama %2 ile %21 arasında artış sağlandığını ortaya koymuştur. Ayrıca yapılan çalışmalarda denetimli sınıflandırma algoritmalarından Rastgele Ormanın bütün veri kümelerinde diğer algoritmalarından daha iyi sonuçlar verdiği görülmekte ve tıbbi veri kümelerindeki sınıflandırma başarısı ile öne çıktığı görülmüştür.

FEATURE SELECTION WITH GENETIC ALGORITHMS AND ITS EFFECT ON CLASSIFICATION PERFORMANCE IN MEDICAL DATASETS

Keywords

Feature Selection,
Genetic Algorithms,
Medical Data Set,
Features Subset,
Medical Classification.

Abstract

Nowadays, it has become very difficult for clinical decision support systems to obtain useful information from very large medical databases. Genetic algorithms (GA) are a widely used feature selection method and can give the best solutions. In this study, a model with GA is proposed to select features from medical data with a large number of complex data and to increase classification success by creating the most appropriate feature subset. In order to evaluate the performance of the proposed method, 5 most well-known and easily accessible medical data sets and 7 different supervised classification methods were used in the study. Feature selection and classification applications were made separately for each data set and each classifier. The results obtained in these applications revealed that, depending on the data set, in the classifications made with the proposed approach, an average of 2% to 21% increase was achieved in the accuracy rate and thus in the machine learning model performance. In addition, it is seen that the Random Forest, one of the supervised classification algorithms, gives better results in all data sets than other algorithms and it has been seen that it stands out with its classification success in medical datasets.

Alıntı / Cite

Deperlioglu, Ö., (2023). Tıbbi Veri Kümelerinde Genetik Algoritmalarla Özellik Seçimi ve Sınıflandırma Başarımına Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 68-80.

* İlgili yazar / Corresponding author: deperlioglu@aku.edu.tr, +90-272-218-2936

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
Ö. Deperlioğlu, 0000-0002-7241-5219	Başvuru Tarihi / Submission Date	17.05.2022
	Revizyon Tarihi / Revision Date	30.09.2022
	Kabul Tarihi / Accepted Date	04.10.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

FEATURE SELECTION WITH GENETIC ALGORITHMS AND ITS EFFECT ON CLASSIFICATION PERFORMANCE IN MEDICAL DATASETS

Ömer DEPERLİOĞLU[†]

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

Highlights

- Today it has become very difficult to obtain useful information from very large medical databases.
- Genetic algorithms is a widely used feature selection method and can give the best solutions.
- A model with GA is proposed to select features from medical data and to increase classification success
- The proposed approach increased the performance of the model between 2% and 21% on average.

Purpose and Scope

In this study, a model with genetic algorithm is proposed to select features from medical data with a large number of complex data or to increase the classification success by creating the most appropriate subset of features.

Design/methodology/approach

Medical datasets constitute the input of the proposed model. In the data preprocessing stage, the data is transferred to the genetic algorithm section for feature selection, after checking the data for lack or missing areas, removing the fields that will not be used, such as diagnostic columns, if any. Then, the classification process is performed with the selected feature subset.

In order to evaluate the performance of the proposed method, applications were made with 5 medical datasets consisting of Pima Indian diabetes, Wisconsin Breast Cancer, Hepatitis, Cleveland Heart Diseases and Parkinson datasets from the most known and easily accessible medical databases in the machine learning laboratory of the University of California Irvine (UCI). As the classification algorithm, 7 different methods such as artificial neural networks, linear and radial core support vector machines, decision tree, logistic regression, random forests, K nearest neighbors, among supervised learning methods were used.

Findings

Feature selection and classification applications were made separately for each data set and each classifier. The results obtained in these applications revealed that, depending on the data set, in the classifications made with the proposed approach, an average of 2% to 21% increase was achieved in the Accuracy rate and thus the machine learning model performance. In addition, it has been seen that Random Forest, one of the supervised classification algorithms, gives better results than other algorithms in all datasets and it has been seen to come to the fore with its classification success in medical datasets.

Originality

Genetic Algorithm (GA) is one of the heuristic approaches that can be applied to many real-world applications to obtain optimized solutions and quality feature subsets in medical datasets. The feature selection techniques of machine learning and data mining also take advantage of the genetic algorithm to extract meaningful features from high-dimensional datasets. GA is capable of giving exact or estimated best solutions. For this reason, in this study, feature selection from medical datasets with GA was proposed and it was shown that it increased the classification success.

[†] Corresponding author: deperlioglu@aku.edu.tr, +90-272-218-2936

1. Giriş (Introduction)

Yaşlanan nüfus ve yaşam tarzı değişiklikleri, dünya genelinde sağlık sistemleri üzerinde artan baskılar oluşturmaktadır. Tıbbi algılayıcılar da dahil olmak üzere bilgi teknolojisindeki gelişmeler yoluyla sağlık ve hasta verilerinin sayısallaştırılmasıyla birlikte bu eğilimler, sağlık alanında büyük hacimli birincil ve ikincil verilerin üretilmesine yol açmıştır. Büyük veri talebi, göreceli klinik kararların aksine kanıta dayalı tıbbi taniye geçişle de desteklenmektedir. Veri hazinesi sağlık hizmeti sunumunu, yönetimini ve politika oluşturmayı iyileştirmek için önemli fırsatlar sunarken, büyük verilerin etkin bir şekilde kullanılması için yeni bilgi sistemlerine ve yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Gerçekten de büyük veri, geleneksel bilgi işlem araçları tarafından analiz edilemeyecek ve yönetilemeyecek kadar büyük ve karmaşık veriler olarak adlandırılmıştır (Kankanhalli vd., 2016).

Günümüzde hastaneler, verileri hastane bilgi sistemlerinde toplamak ve depolamak için orantılı olarak makul araçlar tahsis eden kapsamlı veri toplama araçlarıyla iyi bir şekilde donatılmıştır. Tıbbi veri tabanlarında biriken büyük miktarlardaki veriler, verilerin etkin bir şekilde kullanılması için verilerin depolanması, bunlara erişilmesi ve analiz edilmesi için özel araçlar gerektirir. Anlatım, metin, sayısal ölçümler, kayıtlı sinyaller ve görüntüler gibi çeşitli tıbbi veriler vardır. Son zamanlarda, bu veri boyutlarındaki büyüme nedeniyle karar desteği için faydalı bilgiler çıkarmak zahmetli hale gelmiştir (Jothi vd., 2019).

Sağlık alanında yaygın olan büyük miktarda yüksek boyutlu verilerin yorumlanması zorlu bir problem olarak devam etmekte olup, yüksek boyutlu ve düşük örneklem büyüklüğüne sahip olmaları nedeniyle aktif bir araştırma alanıdır. Bu problemler, yüksek doğruluk elde etmede mevcut sınıflandırma yöntemlerine önemli bir zorluk çıkarmaktadır. Bu nedenle, farklı hastalıkları doğru bir şekilde sınıflandırmak ve dolayısıyla tıp pratisyenlerine yardımcı olmak için bu durumda zorlayıcı bir özellik seçim yöntemi önemlidir.

Tıbbi veri kümelerinde makine öğrenmesinin başarısını birçok faktör etkiler. Verilerin kalitesi böyle bir faktördür. Bilgi alakasız veya fazla ise veya veriler gürültülü ve güvenilmez ise, eğitim sırasında bilgi keşfi daha zordur. Özellik seçimi, mümkün olduğunca alakasız ve gereksiz bilgilerin belirlenmesi ve çıkarılması işlemidir. Tıbbi verilerin işlenmesinde, en uygun özellik alt kümesini seçmenin iki büyük avantajı vardır. Birincisi veri tanımlamasının basitleştirilmesi, hekimlerin sağlıklı ve hızlı tanı koymasını kolaylaştırabilir. İkincisi daha az özelliğe sahip olmak, daha az veri toplanması gerektiği anlamına gelir. Bilindiği gibi, zaman alıcı ve maliyetli olan tıbbi uygulamalarda veri toplamak kolay bir iş değildir (Wang ve Ma, 2009).

Sınıflandırma, popüler makine öğrenimi işi, bilgisayar destekli teşhis sistemlerinin bir parçası ve çeşitli tıbbi veri analiz yazılımı paketleridir. Daha yüksek sınıflandırma doğruluğu elde etmek için sınıflandırma modeli için fonksiyonel küme ve uygun parametrelerin seçilmesi gereklidir. Tıbbi veri tabanları ayrıca birçok özelliğin diğerleriyle ilişkili olduğu geniş bir özellik kümesi içerir, bu nedenle özellik kümesini azaltmak esastır. Çoğu sınıflandırıcı, bir eğitim süreci boyunca verilerden öğrenebilecekleri şekilde yapılandırılmıştır, çünkü tam uzman deneyimi sınıflandırma parametrelerini değerlendirmek için gerçekçi değildir (Kumar, 2021). Özellik seçimi veya özellik azaltma, büyük veri işlemedeki en kritik adımlardan biridir. Bir özellik seçim algoritması, özellik vektöründen en alakalı özellikleri seçer ve alakasız nitelikleri bırakır. Bu aynı zamanda makine öğrenmesi ve örüntü tanımda aktif bir araştırma alanıdır. Bu büyük veri nedeniyle, özellik çıkarma prosedüründe daha büyük boyutlu bir özellik kümesi elde edilir. Çıkarılan tüm öznelikler kullanışlı değildir ve daha yüksek boyutlu bir vektör, zaman maliyeti ve doğruluk açısından modelin performansını etkiler. Boyutluluğu azaltmak ve aynı zamanda bilgi çıkarma ve modelin anlaşılması maliyetlerini azaltmak için özellik seçim teknikleri kullanılır. (Naheed vd., 2020).

Veri sınıflandırmasında en iyi sonucu elde etmek için uygun özellikleri seçmek son yıllarda en zorlu konulardan biri olmuştur. Öğrenme teorisinden, daha fazla özelliğin kullanılması tahminin doğruluğunu artırsa da pratik kanıtlar bunun her zaman doğru olmadığını gösterir çünkü tüm özellikler veri sınıfı etiketini tespit etmek için önemli değildir veya bazıları veri etiketi ile ilgisizdir. Özellik seçim yöntemleri üç kategoriye ayrılabilir: filtreleme, sarmalama ve gömülü olanlar. Filtreleme yöntemleri, sınıfların ne kadar iyi ayrıldığını gösteren mesafe kriteri gibi dolaylı bir kritere dayalı olarak tahminlerin veya sınıflandırmaların doğruluğunu ölçer. Sarmalama yöntemi tamamen sınıflandırma modeline bağlıdır ve algoritma, sınıflandırıcı modelden elde edilen doğruluğa dayalı olarak en uygun alt kümeyi belirler. Seçim kriteri elde edilen doğrulukla aynıdır ve daha yüksek doğruluk sağlayan bir alt küme seçilir. Gömülü yöntemler, öğrenme sürecinde özellik seçimini gerçekleştirir ve genellikle bir öğrenciyeye atanır. Bu model ayrıca, farklı arama aşamalarında farklı değerlendirme kriterlerini kullanarak önceki her iki modelden de yararlanır (Abdollahi ve Nouri-Moghaddam, 2021; Mwadulo, 2016). Ancak, topluluk özellik seçimi üretmek için bu üç tür tekniği birleştirmeye odaklanan bir çalışma yapılmaması nedeniyle Chen ve arkadaşları kategorik, sayısal ve karma veri türleri dahil olmak üzere farklı tıbbi veri türleri için farklı türdeki özellik seçim algoritmalarının hangi kombinasyonunun en iyi performansı sunduğu sorusuna cevap aramışlardır. Deneysel

sonuçlar, birleşim yöntemiyle temel bileşen analizi gibi filtre ve genetik algoritmalar gibi sarmalayıcı tekniklerin bir kombinasyonunun, nispeten yüksek sınıflandırma doğruluğu ve oldukça iyi bir özellik azaltma oranı sağlayarak daha iyi bir seçim olduğunu göstermişlerdir (Chen vd., 2020).

Son zamanlarda, tıbbi veri kümelerinden en uygun özellik alt kümesinin seçilebilmesi için araştırmacılar tarafından çeşitli özellik seçim algoritmaları tanıtılmış ve kullanılmıştır. Bu algoritmalar, genetik algoritma (GA), entropi seçimi, Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Karınca kolonisi gibi birçok yöntemi içermektedir. Bu teknikler hem doğruluğu hem de zaman performansını artırmıştır. GA günümüzde yaygın olarak kullanılan bir özellik seçme yöntemidir. GA, kesin veya tahmini en iyi çözümleri verme yeteneğine sahiptir (Naheed vd., 2020; Goldberg, 1989; Booker vd., 1989). Bu nedenle bu çalışmada tıbbi veri kümelerinden GA ile özellik seçimi ve sınıflandırma başarısına etkisi araştırılmıştır.

Makalenin bundan sonraki bölümlerin düzeni şöyle belirtilebilir. Bölüm 2'de, çalışmada kullanılan veri kümeleri ve yöntemler açıklanmıştır. Bölüm 3'te uygulamanın ayrıntıları verilmiştir. Bölüm 4'te, önerilen yöntemin performansı elde edilen sonuçlarla tartışılmaktadır. Makale 5. bölümdeki sonuç ve öneriler kısmı ile sonlandırılmaktadır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Son yıllarda, yararlı tıbbi bilgileri ve kuralları otomatik olarak keşfetmek için makine öğrenimi veya veri madenciliği tekniklerini kullanmaya yönelik önemli araştırmalar yapılmaktadır.

Yeniterzi ve arkadaşları kalp aritmileri üzerine yaptıkları çalışmalarında, genetik algoritmalar kullanılarak 278 öznelikte veri kümesini çok daha iyi açıklayan özelliklerin keşfedilmesine odaklanmaktadır. GA sonuçlarından elde edilen özellikler kullanılarak sınıflandırma doğruluğunu %90'a kadar yükseltmişlerdir (Yeniterzi vd, 2007). Bir başka çalışmada, meme kanseri teşhisi için özellik seçimini ele almaktadır. Mevcut süreç, özellik seçimine ve PS sınıflandırıcıya dayalı GA kullanarak bir sarmalayıcı yaklaşımı kullanmaktadır. Deney sonuçları, önerilen modelin Wisconsin meme kanseri veri kümelerindeki diğer modellerle karşılaştırılabilir verimliliğe sahip olduğunu göstermektedir (Aalaei vd, 2016). Algoritmaları karşılaştıran bir çalışmada, Temel Bileşen Analizi (TBA), Faktör Analizi (FA) ve Nitelik Sıralaması (NS) yöntemi olmak üzere üç farklı özellik seçme yöntemini karşılaştırmışlardır. TBA'nın yüksek performansını Naive Bayes sınıflandırıcı ve K-en yakın komşular sınıflandırıcı kullanılarak bir veri kümesi üzerinde bir dizi deney yoluyla doğrulamışlardır (Samant ve Rao, 2013).

Tıbbi veri kümelerinde farklı algoritmalarla özellik seçimi üzerine yapılan bir çalışmada, ayarlanmış beyin fırtınası optimizasyon algoritması önermektedir. Sınıflandırma, parametrelerinin beyin fırtınası optimizasyon algoritması ile optimize edildiği destek vektör makinesi ile yapılmıştır. Önerilen yöntem, kamuya açık standart tıbbi veri kümeleri üzerinde test edilmiş ve diğer son teknoloji yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar analiz edilerek önerilen yöntemin daha yüksek doğruluk sağladığı ve ihtiyaç duyulan öznelik sayısını azalttığı gösterilmiştir (Tuba vd, 2019). Uygulamalarda farklı algoritmalar kullanıldığı gibi karma yöntemler de özellik seçiminde kullanılmaktadır. Örneğin Khadir ve Amanullah makalelerinde, sınıflandırma veya kümeleme sonuçlarının iyileştirilmesi için aynı öznelik seçim süreci için geliştirilmiş bir genetik algoritma sunmaktadır. Bir bilgi tahmin modeli oluşturmak için en iyi etkileyen niteliği belirlemek için uygunluk fonksiyonu olarak Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR) tekniği kullanmışlardır. MLR-GA'nın sonuçları, doğruluk açısından mevcut özellik seçim algoritmalarından daha iyi performans sergilediğini göstermişlerdir (Khadir ve Amanullah, 2017).

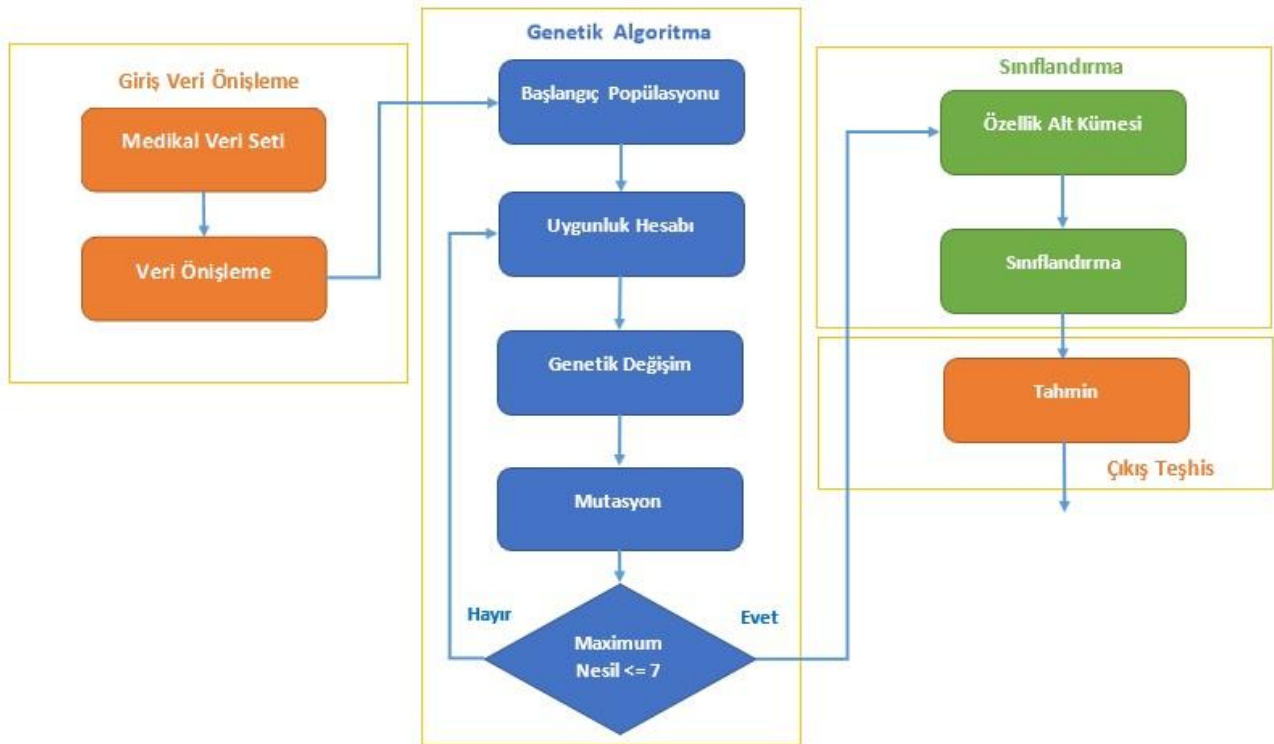
Veri kümelerinde özellik seçimi için Parçacık Sürü Optimizasyonunun (PSO) da sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Örneğin Rostami ve arkadaşları bir çalışmalarında, yeni bir Parçacık Sürü Optimizasyonu tabanlı çok amaçlı özellik seçim yöntemi önermiştir. Önerilen yöntem üç ana aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, orijinal özellikler bir grafik temsil modeli olarak gösterilmektedir. Bir sonraki aşamada, grafikteki tüm düğümler için özellik merkezilikleri hesaplanmakta ve son olarak üçüncü aşamada, son özellik seçimi için geliştirilmiş bir PSO tabanlı arama süreci kullanılmaktadır. Beş tıbbi veri kümesi üzerinde elde edilen sonuçlarla, önerilen yöntemin verimlilik ve etkinlik açısından diğer ilgili yöntemleri iyileştirdiğini göstermişlerdir (Rostami vd, 2020). Benzer şekilde farklı hastalık türlerinin varlığını veya yokluğunu tespit etmek için sarmalayıcı tabanlı öznelik seçim yöntemi olarak kabul görmüş çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonunun kullanımını araştırmışlardır (Habib vd, 2020). Yine benzer bir çalışmada yazarlar özellik seçimi amacıyla üç adımda işlev gören topluluk algılamaya dayalı bir genetik algoritma önermektedir. İlk adımda özellik benzerlikleri hesaplanıyor. Özellikler, ikinci adım boyunca topluluk algılama algoritmaları tarafından kümeler halinde sınıflandırılıyor. Üçüncü adımda, özellikler, topluluk tabanlı yeni bir onarım işlemiyle genetik bir algoritma tarafından seçiliyor. Dokuz kıyaslamalı sınıflandırma problemi ile yaklaşımın performansı analiz edilmiştir. Ayrıca yazarlar, önerilen yaklaşımın verimliliğini özellik seçimi için parçacık sürü optimizasyonu, Karınca Kolonisi Optimizasyonu ve Yapay Arı Kolonisi algoritmalarından elde edilen bulgularla karşılaştırmışlardır. Buna göre GA ile daha iyi başarımlar elde ettiklerini belirtmişlerdir (Rostami, vd, 2021).

Aynı şekilde 30 veri kümesi ve 14 sınıflandırıcı ile yaptıkları çalışmada özelliklerin özdeğerleri ile en iyi özellik alt kümesini bulmak için Genetik algoritmanın ideal bir yöntem olduğunu ve 14 sınıflandırıcının tamamı arasında Radyal tabanlı fonksiyon ağıнын (RBF) en iyi ortalama performansa sahip olduğu belirtilmiştir (Ershadi ve Seifi, 2022).

Özellik seçimi, makine öğrenmesi analizinde çok önemli bir adımdır. Halihazırda, birçok özellik seçimi yaklaşımı, 'Omics' veri kümelerinde olduğu gibi, veri miktarı çok büyük olduğunda, doğruluk ve hesaplama süresi açısından tatmin edici sonuçlar sağlamamaktadır. Bu nedenle yazarlar çok sınıflı ve yüksek boyutlu veri kümelerinde bilgilendirici özelliklerin hızlı ve doğru bir şekilde tanımlanması için GARS adı verilen bir genetik algoritma ile özellik seçimi uygulamasını önermişlerdir. Tüm benzetimlerde, GARS' ın makul bir hesaplama süresinde yüksek sınıflandırma doğrulukları göstererek, iki standart filtre tabanlı, iki sarmalayıcı ve bir gömülü seçim yönteminden daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir (Chiesa vd., 2020). Bunun dışında küçük ve büyük tıbbi veri kümelerinden etkili özellikleri seçmek için ikili bir güve alevi optimizasyonu (B-MFO) (Nadimi-Shahraki vd., 2021), en uygun özellik alt kümesini seçmek için Gömülü Hibrit Filtre Sarıcı (HFWE) tabanlı özellik seçimi gibi özel algoritmalar da geliştirilmiştir (Parthiban, 2021).

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Yukarıda örneklerle belirtildiği gibi optimize edilmiş çözümlerin elde edilmesi için birçok gerçek dünya uygulamasına uygulanabilen sezgisel yaklaşımlardan birisi Genetik Algoritmadır (GA). Makine öğrenmesi ve veri madenciliğinin özellik seçme teknikleri, yüksek boyutlu veri kümelerinden anlamlı özellikleri çıkarmak için genetik algoritmanın avantajlarından da yararlanmaktadır. Aynı amaçla bu çalışmada, çok sayıda karmaşık verilere sahip olan tıbbi verilerden özellik seçimi yapmak veya en uygun özellikler alt kümesini oluşturarak sınıflandırma başarısını artırmak için genetik algoritma içeren bir model önerilmiştir. Önerilen yöntemin genel yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sistemin girişini tıbbi veri kümeleri oluşturmaktadır. Veri ön işleme aşamasında veriler kontrol edilerek eksiklik veya boşluk olup olmadığı kontrol edildikten sonra veri kümesinde varsa tanı sütunları gibi kullanılmayacak olan alanlar çıkartıldıktan sonra veriler özellik seçimi için genetik algoritma bölümüne aktarılıyor.



Şekil 1. Önerilen yöntemin genel yapısı (general structure of the proposed method)

Genetik algoritma bölümünde, öncelikle başlangıç popülasyonu özellik kümelerinin örnek uzayından rastgele oluşturuluyor. Oluşturulan rastgele popülasyon, en yüksek doğruluk veren en iyi ebeveynleri döndüren uygunluk işlevinden geçiriliyor. Burada, hedef uygunluk değeri belirtilen sınıflandırıcının doğruluk değerini içeren performansdır. Böylece en iyi ebeveynlerin seçimi gerçekleştiriliyor. Hangi üyelerin bir sonraki nesle devam edeceği belirlendikten sonra, önce genetik değişim (çaprazlama) ardından mutasyon işlemleri yürütülüyor. Genetik değişim, birinci ebeveynin bir kısmı ile ikinci ebeveynin bir kısmı rastgele seçilerek en uygun iki

ebeveynden gelen genlerin birleştirilmesiyle oluşturuluyor. Mutasyon ise genetik değişim çocuğundan seçilen bitlerin rastgele çevrilmesiyle elde ediliyor. Bir önceki nesilden en uygun ebeveynler seçilerek genetik değişim ve mutasyon uygulanarak yeni nesil oluşturulma işlemi belirtilen 7 nesil boyunca yineleniyor. Böylece sınıflandırıcı için uygun özellikler seçilmiş oluyor.

GA ile özellik seçimi ile oluşturulan özellikler alt kümesi ile sınıflandırma yapılarak ilgili veri kümesi için teşhis veya tanı tahmini gerçekleştiriliyor.

3.1. Tıbbi Veri Kümeleri (Medical Data Sets)

Önerilen yöntemin performansını değerlendirmek için en çok bilinen ve rahatlıkla ulaşılabilen 5 tıbbi veri kümesi ile uygulamalar yapılmıştır. Çalışmada kullanılan Kaliforniya Üniversitesi Irvine (UCI) makine öğrenme laboratuvarındaki tıbbi veri tabanlarından yaygın kullanılan, Pima Indian diyabet, Wisconsin Göğüs Kanseri, Hepatitler, Cleveland Kalp Hastalıkları ve Parkinson veri kümelerinin özellikleri Tablo 1’de verilmiştir (UCI, 2007).

Tablo 1. Tıbbi veri kümelerinin özellikleri (attributes of medical data sets)

Veri Kümesi	Örnek Sayısı	Özellik Sayısı	Çıkış Sınıfı Sayısı
Pima Indian Diyabet	768	8	2
Wisconsin Göğüs Kanseri	103	9	6
Hepatit	155	19	2
Cleveland Kalp Hastalıkları	303	13	5
Parkinson Hastalığı	195	22	2

3.1.1. Pima Indian Diyabet Veri kümesi (Pima Indian Diabetes Data Set)

Pima Indian diyabet veri kümesindeki bu örneklerin, daha büyük bir veri tabanından seçilmesine ilişkin çeşitli kısıtlamalar yapılmıştır. Özellikle, tüm hastalar en az 21 yaşında Pima Indian kökenli kadınlardan seçilmiştir. Veri kümesinde Toplam 768 örnek bulunmaktadır ve her bir örnek için 8 özellik mevcuttur. Bu özellikleri şunlardır: 1) gebelik sayısı, 2) plazma glikoz konsantrasyonu, 3) diyastolik tansiyon, 4) kol kası cilt deri kalınlığı, 5) serum insülin, 6) vücut kütleendeksi, 7) diyabet soyağacı fonksiyonu ve 8) yaş. Veri kümesindeki verilerin, sağlıklı-diyabet negatif ve diyabetli-diyabet pozitif olmak üzere 2 sınıftan oluşmaktadır (Jaganathan ve Kuppuchamy, 2013).

3.1.2. Wisconsin Göğüs Kanseri Veri kümesi (Wisconsin Breast Cancer Dataset)

Wisconsin Göğüs kanseri Veri kümesi, Wisconsin Üniversitesi Madison Hastaneleri'nde Dr. William H. Wolberg tarafından 1989-1991 yılları arasında toplanmıştır. Dokuz özellik ile karakterize 699 örnek içermektedir: 1) Küme Kalınlığı, 2) Hücre Boyutunun Eşsizliği, 3) Hücre Şeklinin Eşbiçimi, 4) Marjinal Yapışma, 5) Tek Epitelyal Hücre Boyutu, 6) Çıplak Çekirdekler, 7) Bland Kromatin, 8) Normal Nükleoliant ve 9) İyi huylu veya habis büyümeleri tahmin etmek için kullanılan mitozlar. Bu veri kümesinde, elektrikle empedans ölçümleri kullanılarak altı yeni çıkarılan doku sınıfı çalışılmıştır. Bu dokular kanser 21, Fibro adenom 15, mastopatileri 18, beze gibi 16, bağlayıcı 14, Yağ 22 adettir (Salama vd., 2012).

3.1.3. Hepatit Veri kümesi (Hepatitis Data Set)

Hepatitler veri kümesi Carnegie-Mellon Üniversitesi'nden alınmıştır. Her bir örnek 19 özellik içermektedir. Bu özellikler: 1) yaş, 2)cinsiyet, 3) steroid, 4) antiviraller, 5) yorgunluk, 6) halsizlik, 7) anoreksiya, 8) karaciğer, 9) karaciğer filmi, 10) dalak bulguları, 11) örümcekler, 12) asitler, 13) varisler, 14) bilirubin, 16) alkfosfat, 17) SGOT, 18) albumin, 19) protime ve 20) histolojidir. Veri kümesinde canlı veya ölü olmak üzere toplam 155 örnek vardır (Ba-Alwi ve Hintaya, 2013).

3.1.4. Cleveland Kalp Hastalıkları Veri kümesi (Cleveland Heart Diseases Data Set)

Veri kümesi Cleveland Kliniği Vakfı'ndan toplanmış ve her biri başlangıçta 76 ham özellikten seçilmiş 13 özelliği olan yaklaşık 303 örnek içermektedir. Özellikleri şunlardır:1) yaş, 2) cinsel ilişki, 3) göğüs ağrısı türü, 4) istirahat tansiyonu,5) kolesterol, 6) açlık kan şekeri, 7) dinlenme elektrokardiyografik sonuçlar, 8) maksimum kalp atışı, 9) egzersiz indükteanjina, 10) segmente göre egzersiz tarafından indüklenen depresyon, 11) zirve egzersizinin eğimi, 12) büyük damarların sayısı ve 13) tal. Veri kümesindeki veriler, kalp hastalığının varlığını gösteren değerler 1, 2, 3, 4 ve yokluğunu gösteren değer 0 olmak üzere 5 sınıftan oluşmaktadır (Detrano vd., 1989).

3.1.5. Parkinson Hastalığı Veri Kümesi (Parkinson's Disease Data Set)

Bu veri kümesi, 23'ü Parkinson hastalığı olan 31 kişiden alınan çeşitli biyomedikal ses ölçümlerinden oluşmaktadır. Tablodaki her sütun belirli bir ses ölçüsüdür ve her satır bu kişilerden gelen 195 ses kaydından birine karşılık gelir. Veri kümesindeki özellik bilgileri, name- ASCII konu adı ve kayıt numarası, MDVP: Fo(Hz) - Ortalama vokal temel frekansı, MDVP: Fhi(Hz) - Maksimum vokal temel frekansı, MDVP: Flo(Hz) - Minimum vokal temel frekansı, MDVP: Jitter(%), MDVP: Jitter(Abs), MDVP: RAP, MDVP:PPQ, Jitter: DDP - Temel frekansta çeşitli varyasyon ölçütleri, MDVP: Işıltı, MDVP: Işıltı(dB), Işıltı: APQ3, Işıltı: APQ5, MDVP: APQ, Işıltı: DDA - Genlikte çeşitli varyasyon ölçütleri NHR, HNR - Sesteki gürültünün ton bileşenlerine oranının iki ölçüsü, state - Deneğin sağlık durumu (bir) - Parkinson, (sıfır) - sağlıklı, RPDE, D2 - İki doğrusal olmayan dinamik karmaşıklık ölçüsü, DFA - Sinyal fraktal ölçekleme üssü, spread1, spread2, PPE - Temel frekans değişiminin üç doğrusal olmayan ölçümü oluşmaktadır. Veri kümesinde hasta başına yaklaşık altı kayıt vardır. Veri kümesi, sağlıklı insanlar için 0 ve Parkinson hastaları için 1 olmak üzere iki çıkış sınıfına sahiptir (Little vd., 2008).

3.2. Kullanılan Yapay Zekâ Yöntemleri (Used Artificial Intelligence Methods)

Önerilen modelde sarmalayıcı özellik seçme yöntemi olarak Genetik Algoritmalar (GA) kullanılmıştır. Önerilen yöntemin performansını değerlendirmek için yapay zekâda denetimli öğrenme yöntemlerinden Yapay Sinir Ağları (YSA), doğrusal ve radyal çekirdekli Destek Vektör Makineleri (DVM), Karar Ağacı (KA), Lojistik Regresyon (LR), Rastgele Ormanlar (RO), K en yakın Komşu (K-YK) olmak üzere 7 adet denetimli sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler aşağıda kısaca tanıtılmıştır.

3.2.1. Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms)

Genetik algoritmalar, belirli bir problem için en uygun çözümü bulmaya çalışır. Genetik algoritmalar, belirli bir problem için bireyler adı verilen bir aday çözüm popülasyonu sağlar. Bu aday çözümler yinelemeli olarak değerlendirilir ve yeni nesil çözümler oluşturmak için kullanılır. Bu sorunu çözmeye daha iyi olanların seçilme ve niteliklerini yeni nesil aday çözümlere aktarma şansı daha yüksektir. Bu şekilde, nesiller geçtikçe, aday çözümler eldeki sorunu çözmeye daha iyi hale gelir (Wirsansky, 2020).

Genetik algoritmaların altında yatan yapı taşı hipotezi, eldeki problemin optimal çözümünün küçük yapı taşlarından bir araya getirilmesidir. Bu yapı taşlarından daha fazlası bir araya getirildikçe ideal çözüme yaklaşılmış olur. İstenen yapı taşlarından bazılarını içeren popülasyondaki bireyler, üstün puanlarıyla tanımlanır. Tekrarlanan seçim ve genetik değişim işlemleri, bu yapı taşlarını sonraki nesillere daha iyi aktaran ve muhtemelen bunları diğer başarılı yapı taşlarıyla birleştiren daha iyi bireylerle sonuçlanır. Bu, genetik baskı yaratır, böylece popülasyonu ideal çözümü oluşturan yapı taşlarına sahip daha fazla bireye sahip olmaya yönlendirir. Sonuç olarak, her nesil bir öncekinden daha iyidir ve ideal çözüme daha yakın olan daha fazla birey içerir.

3.2.2. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network)

YSA aşağıdaki özelliklere sahip paralel dağıntık bilgi işleme yapısıdır: Sinirlerden esinlenmiş matematik modelidir ve çok sayıda birbirine çok iyi bağlı işlem elemanlarını kapsar. Ağırlıklar veya bağlantılar bilgiyi tutar, işlem elemanları giriş uyarıcılarına dinamik olarak tepki gösterebilir. Tepki tamamen işlem elemanına bağlantılar ve bağlantıların ağırlıkları ile gelen giriş sinyallerinden oluşan bölgesel bilgisine bağlıdır. Öğrenme, hatırlama ve görünen veya ayarlanan bağlantı ağırlıklarıyla öğrenme verisinden genelleştirme özelliklerine sahiptir. Ortaklaşa davranışı hesaplanabilir güç gösterir ve yayılmış temsil özelliği nedeniyle tek sinir özel bilgi taşıyıcı değildir. Ayrıca bir sinir ağı yalnızca sayısal, sürekli bilgileri işleyebilir. Bir kaliteyi belirten bir görüntüde kırmızı, mavi veya yeşil etiketler gibi nitel değişkenleri işleyemez. Niteliksel değişkenleri, bir dizi ikili değer gibi sürekli bir sayısal değere dönüştürerek işlenebilir.

3.2.3. Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machines)

Destek Vektör Makinesi (DVM), çoğunlukla sınıflandırma çalışmalarında yaygın olarak kullanılan denetimli öğrenme algoritmasıdır. Ancak regresyon problemleri için de kullanılabilir. Ancak, öncelikle makine öğreniminde sınıflandırma problemleri için kullanılır. DVM algoritmasının amacı, gelecekte yeni veri noktasını kolayca doğru kategoriye koyabilmemiz için n-boyutlu uzayı sınıflara ayırabilen en iyi çizgi veya karar sınırını oluşturmaktır. Bu en iyi karar sınırına hiperdüzlem denir. DVM, hiper düzlemi oluşturmaya yardımcı olan uç noktaları/vektörleri seçer. Bu uç durumlara destek vektörleri denir ve bu nedenle algoritma Destek Vektör Makinesi olarak adlandırılır (Machine Learning Notes, 2020). DVM yapısına göre Doğrusal DVM ve Doğrusal olmayan DVM olmak üzere ikiye ayrılır.

Ayrıca, DVM algoritmaları öğrenme aşamasında bazı matematiksel fonksiyonlar kullanır ve bunlar çekirdek olarak tanımlanır. Çekirdeğin ana görevi girdi olarak sunulan verileri alarak, bunları gerekli forma dönüştürmektir. Farklı DVM algoritmaları, farklı türde çekirdek işlevleri kullanır. Bu fonksiyonlar farklı tiplerde olabilir. Örneğin lineer, lineer olmayan, polinom, radyal temel fonksiyon ve sigmoid. En çok kullanılan çekirdek işlevi türü radyaldır. Çünkü tüm x eksenini boyunca lokalize ve sonlu bir tepkiye sahiptir. Çekirdek işlevleri, uygun bir özellik uzayında iki nokta arasındaki iç çarpımı döndürür. Böylece, çok yüksek boyutlu uzaylarda bile çok az hesaplama maliyeti ile bir benzerlik kavramı tanımlayabilir.

3.2.4. Karar Ağaçları (Decision Trees)

Karar Ağaçları, verilerin belirli bir parametreye göre sürekli olarak bölündüğü bir denetimli makine öğrenmesi türüdür. Yani, eğitim verilerinde girdinin ne olduğunu ve karşılık gelen çıktının ne olduğunu belirten örneklerle öğrenir. Temel olarak, bağımsız değişkenlere dayalı özyinelemeli bölüm olarak ifade edilen bir sınıflandırıcıdır. Ağaç, karar düğümleri ve yapraklar olmak üzere iki varlıkla açıklanabilir. Yapraklar kararlar veya nihai sonuçlardır. Karar düğümleri, verilerin bölündüğü yerdir. Başka bir deyişle karar ağacı, köklü ağacı oluşturan düğümlere sahiptir. Köklü ağaç, kök adı verilen bir düğüme sahip yönlendirilmiş bir ağaçtır. Kökün herhangi bir gelen kenarı yoktur ve diğer tüm düğümlerin bir gelen kenarı vardır. Bu düğümlere yaprak veya karar düğümleri denir (Tutorials Point, 2016).

3.2.5. Lojistik Regresyon (Logistic Regresyon)

Lojistik regresyon, sınıflandırma problemlerini çözmek için kullanılan bir başka denetimli öğrenme algoritmasıdır ve logit regresyon olarak da bilinir. Temel olarak lojistik regresyon, belirli bir bağımsız değişken kümesine dayalı olarak 0 veya 1, doğru veya yanlış, evet veya hayır gibi ayrık değerleri tahmin etmek için kullanılan bir sınıflandırma algoritmasıdır. Temel olarak, olasılığı tahmin eder, dolayısıyla çıktısı 0 ile 1 arasında bulunur.

3.2.6. Rasgele Ormanlar (Random Forests)

Rastgele orman, birden fazla karar ağacının oluşturulduğu ve daha doğru bir tahmin elde etmek için birleştirildiği bir topluluk öğrenme yöntemidir. Makine öğreniminde son birkaç yılda popüleritesi artan bir yöntem varsa, o da rastgele ormanlar fikridir. Temel olarak karar ağaçlarının toplanmasıdır yani orman veya karar ağaçlarının topluluğu denilebilir. Rastgele ormanın temel konsepti, her ağacın bir sınıflandırma vermesi ve ormanın bunlardan en iyi sınıflandırmayı seçmesidir. Rastgele orman algoritmasının avantajları çoktur. Bunlardan bazıları: Rastgele orman sınıflandırıcısı hem sınıflandırma hem de regresyon görevleri için kullanılabilir, eksik değerleri işleyebilirler.

3.2.7. K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbor)

Denetimli öğrenme tekniğine dayalı en basit makine öğrenimi algoritmalarından biridir. K-YK algoritması, yeni durum/veriler ile mevcut durumlar arasındaki benzerliği varsayar ve yeni durumu mevcut kategorilere en çok benzeyen kategoriye yerleştirir. K-YK algoritması, mevcut tüm verileri saklar ve benzerliğe göre yeni bir veri noktasını sınıflandırır. Sınıflandırmanın yanı sıra regresyon için de kullanılabilir ancak daha çok sınıflandırma problemleri için kullanılır.

K-YK, parametrik olmayan bir algoritmadır, yani temel veriler üzerinde herhangi bir varsayımda bulunmaz. Tembel öğrenen algoritması olarak da adlandırılır, çünkü eğitim kümesinden hemen öğrenmez, bunun yerine veri kümesini depolar ve sınıflandırma anında veri kümesi üzerinde bir işlem gerçekleştirir. K-YK algoritması eğitim aşamasında sadece veri kümesini saklar ve yeni veri aldığı anda bu veriyi yeni veriye çok benzeyen bir kategoride sınıflandırır.

3.3. Sınıflandırma Performans Değerlendirmesi (Evaluation of Performance Classification)

Tıbbi sınıflandırma çalışmalarının performansını değerlendirmek için çoğunlukla 7 farklı performans ölçütleri tercih edilmektedir. Bu performans ölçütleri doğruluk (Accuracy), kesinlik (precision), özgüllük (specificity), duyarlılık (sensitivity), geri çağırma (recall-hatırlama), F ölçümü veya F1 Puanı (F measure or F1 Score) ve AUC'dir. Bu ölçütlerden önerilen modelin tahmin kabiliyetini ve doğruluğunu değerlendirmek için Doğruluk kullanılmıştır ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Sokolova ve Lapalme, 2009; Deperlioglu, 2019):

$$\text{Doğruluk} = \frac{tp+tn}{tp+fp+fn+tn} \quad (1)$$

Bu denklemde, tp gerçek ve gerçek pozitiflerin sayısıdır. fp , yanlış pozitif tanı sayısına karşılık gelir. tn gerçek negatif sayıdır. fn , yanlış negatif tanılarının sayısına karşılık gelir.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Tıbbi veri kümelerinden genetik algoritmalarla özellik seçimi yaparak özellik alt kümesinin oluşturulması çok kullanılan halka açık 5 veri kümesi üzerinde yaygın kullanılan 7 ayrı denetimli sınıflandırıcı üzerinde denenmiştir. Tüm uygulamalarda Python programlama dili ve Scikit learn kitaplığı kullanılmıştır. Kullanılan sınıflandırıcıların özellikleri bu kitaplığa göre seçilmiştir. YSA' da her katmanda 256, 128, 64, 32 farklı nöronlar bulunan dört gizli katman modellenmiştir. Girdi ve çıktı katmanı düşünüldüğünde modelde toplam 6 katman bulunmaktadır. Aktivasyon işlevi 'relu', çözücü işlevi 'adam', yineleme sayısı (max_iter) 1000 olarak seçilmiştir. DVM' de doğrusal ve radyal iki ayrı çekirdekle (kernel='linear', kernel='rbf') sınıflandırma yapılmıştır. Lojistik regresyonda maksimum yineleme sayısı 1000 olarak seçilmiştir. Rastgele orman sınıflandırıcıda tahmin edici (n_estimators) 200, rasgele durum (random_state) 0 olarak alınmıştır. Karar ağacında rasgele durum (random_state) 0 olarak alınmıştır. Bunlarında dışında özel bir düzenleme yapılmamış varsayılan sınıflandırıcı yapısı kullanılmıştır. Genetik algoritmada özellik seçimi için özellik sayısı kadar popülasyon kullanılmış ve 7 nesil boyunca tekrar edilerek en iyi nesile ulaşılmaya veya en iyi özellik alt kümesi elde edilmeye çalışılmıştır.

Uygulamada tüm veri kümelerinde ilk önce veri denetimi yapılmış, ardından isim, tanıtım ve tanı verileri gibi kullanılmayacak özellikler çıkarılmıştır. Daha sonra karşılaştırma yapabilmek amacıyla tüm özelliklerle 10 kez sınıflandırma yapılarak ortalama başlangıç Doğruluk oranı hesaplanmıştır. Ardından GA ile her veri tabanında özellik seçimi yapılarak yine her sınıflandırıcı için 10 kez sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sınıflandırma işlemlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.1. Pima Indian Diyabet Veri kümesi (Pima Indian Diabetes Data Set)

Pima Indian Diyabet Veri kümesinde sınıflandırmada kullanılan 8 özellik ve toplamda 768 örnek ile yapılan özellik seçimi uygulamasında elde edilen sonuçlar Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Pima Indian diyabet veri kümesi ile elde edilen sonuçlar (Results obtained with the pima Indian diabetes dataset)

Sınıflandırma Yöntemi	Başlangıç Doğruluk (%)	Seçilen Özellik Sayısı	En Düşük Doğruluk (%)	Ortalama Doğruluk (%)	En Yüksek Doğruluk (%)
Yapay Sinir Ağları	69,27	5	73,43	74,47	75,52
Destek Vektör Doğ.	72,91	5	74,47	75,52	76,04
Destek Vektör Rad.	72,91	7	75	75	75
Rastgele Orman	73,43	7	75,52	75,52	75,52
Lojistik Regresyon	72,39	7	75,52	75,84	76,04
Karar Ağacı	68,75	5	70,83	71,08	71,35
K en yakın Komşular	65,62	7	73,43	73,43	73,43

Yukarıdaki tabloda elde edilen en yüksek değerler koyu olarak gösterilmiştir. Özellik seçimi öncesi 8 özellikle yapılan sınıflandırmalarda başlangıç ortalama Doğruluk oranı %73,43 ile RO sınıflandırıcısı ile elde ediliyor. GA ile özellik seçiminden sonra ise %75,84 ortalama Doğruluk oranı ile LR ile elde ediliyor. Seçilen özellik sayısı sınıflandırıcıya göre değişmektedir. Örneği LR'de seçilen özellik sayısı 7'dir ve seçilen özellikler: 1) gebelik sayısı, 2) plazma glikoz konsantrasyonu, 3) diyastolik tansiyon, 4) kol kası cilt deri kalınlığı, 5) serum insülin, 6) vücut kütle endeksi, 7) diyabet soyağacı fonksiyonudur (True, True, True, True, True, True, True, True, False). 5 özellikle ortalama %75,52 Doğruluk sağlayan doğrusal çekirdekli DVM'de ise seçilen özellikler: 1) gebelik sayısı, 2) plazma glikoz konsantrasyonu, 6) vücut kütle endeksi, 7) diyabet soyağacı fonksiyonu, 8) yaş (True, True, False, False, False, True, True, True) şeklindedir.

GA ile özellik seçiminin sınıflandırma başarısına etkisine bakıldığında bütün sınıflandırıcılarda doğruluk oranının yükseldiği görülmektedir. Ortalama değerlere bakıldığında sınıflandırma performansının YSA'da yaklaşık %5, D-DVM'de yaklaşık %2,5, R-DVM'de yaklaşık %3, RO'da yaklaşık %2, LR'da yaklaşık %3, KA'da yaklaşık %3, K-YK'da yaklaşık %8'lik bir artış görülmektedir.

4.2. Wisconsin Göğüs Kanseri Veri Kümesi (Wisconsin Breast Cancer Dataset)

Wisconsin Göğüs Kanseri Veri kümesinde sınıflandırmada kullanılan 30 özellik ve toplamda 569 kayıt ile yapılan özellik seçimi uygulamasında elde edilen sonuçlar Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Wisconsin göğüs kanseri veri kümesi ile elde edilen sonuçlar (Results obtained with the Wisconsin breast cancer dataset)

Sınıflandırma Yöntemi	Başlangıç Doğruluk (%)	Seçilen Özellik Sayısı	En Düşük Doğruluk (%)	Ortalama Doğruluk (%)	En Yüksek Doğruluk (%)
Yapay Sinir Ağları	86,01	20	96,50	97,90	98,60
Destek Vektör Doğ.	95,80	23	98,60	99,30	100
Destek Vektör Rad.	95,10	19	98,60	98,97	99,30
Rastgele Orman	97,20	17	98,60	99,30	100
Lojistik Regresyon	96,50	23	99,30	99,30	99,30
Karar Ağacı	93,00	19	96,50	97,90	98,60
K en yakın Komşular	96,50	21	97,20	97,20	97,20

Özellik seçimi öncesi 22 özellikle yapılan sınıflandırmalarda başlangıç ortalama Doğruluk oranı %97,20 ile RO sınıflandırıcısı ile elde ediliyor. GA ile özellik seçiminden sonra ise %99,30 en yüksek ortalama Doğruluk oranı RO, LR ve D-DVM ile elde ediliyor. Seçilen özellik sayısı yine sınıflandırıcıya göre değişmektedir. Örneğin D-DVM’de seçilen özellik sayısı 23, LR’de seçilen özellik sayısı 23 ve RO’da seçilen özellik sayısı 17’dir ve bu 3 sınıflandırıcıda ortalama %99,30 doğruluk elde etmişlerdir.

GA ile özellik seçiminin sınıflandırma başarısına etkisine bakıldığında bütün sınıflandırıcılarda doğruluk oranının yükseldiği görülmektedir. Ortalama değerlere bakıldığında sınıflandırma performansının YSA’da yaklaşık %11, D-DVM’de yaklaşık %4, R-DVM’de yaklaşık %3, RO’da yaklaşık %2, LR’da yaklaşık %3, KA’da yaklaşık %5, K-YK’da yaklaşık %1’lik bir artış görülmektedir.

4.3. Hepatit Veri Kümesi (Hepatitis Data Set)

Wisconsin Göğüs Kanseri Veri kümesinde sınıflandırmada kullanılan 19 özellik ve toplamda 155 kayıt ile yapılan özellik seçimi uygulamasında elde edilen sonuçlar Tablo 4’ de verilmiştir.

Tablo 4. Hepatit veri kümesi ile elde edilen sonuçlar (Results obtained with the Hepatitis data set dataset)

Sınıflandırma Yöntemi	Başlangıç Doğruluk (%)	Seçilen Özellik Sayısı	En Düşük Doğruluk (%)	Ortalama Doğruluk (%)	En Yüksek Doğruluk (%)
Yapay Sinir Ağları	61,53	13	76,92	81,07	84,61
Destek Vektör Doğ.	74,35	15	79,48	79,48	79,48
Destek Vektör Rad.	69,23	13	71,79	74,35	76,92
Rastgele Orman	74,35	13	79,48	82,35	84,61
Lojistik Regresyon	74,35	13	79,48	81,15	82,05
Karar Ağacı	66,67	11	79,01	82,12	84,61
K en yakın Komşular	61,53	11	66,66	71,79	74,35

Özellik seçimi öncesi 19 özellikle yapılan sınıflandırmalarda başlangıç ortalama Doğruluk oranı %74,35 ile D-DVM, RO, LR sınıflandırıcıları ile elde ediliyor. GA ile özellik seçiminden sonra ise %82,35 ile en yüksek ortalama Doğruluk oranı RO’da elde ediliyor. Seçilen özellik sayısı yine sınıflandırıcıya göre değişmektedir. Örneğin en yüksek ortalama Doğruluk oranlarının elde edildiği sırasıyla RO’ da seçilen özellik sayısı 13, LR’de seçilen özellik sayısı 13 ve KA’da seçilen özellik sayısı 11’dir.

GA ile özellik seçiminin sınıflandırma başarısına etkisine bakıldığında bütün sınıflandırıcılarda doğruluk oranının yükseldiği görülmektedir. Ortalama değerlere bakıldığında sınıflandırma performansının YSA’da yaklaşık %21, D-DVM’de yaklaşık %5, R-DVM’de yaklaşık %5, RO’da yaklaşık %8, LR’da yaklaşık %7, KA’da yaklaşık %16, K-YK’da yaklaşık %10’luk bir artış görülmektedir. Ayrıca özellik seçiminden sonra YSA’da en düşük sınıflandırma oranının %76,92 olmasına rağmen başlangıçtan çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı durum KA içinde geçerlidir.

4.4. Cleveland Kalp Hastalıkları Veri kümesi (Cleveland Heart Diseases Data Set)

Cleveland Kalp Hastalıkları Veri kümesinde sınıflandırmada kullanılan 13 özellik ve toplamda 1025 kayıt ile yapılan özellik seçimi uygulamasında elde edilen sonuçlar Tablo 5’ de verilmiştir.

Özellik seçimi öncesi 13 özellikle yapılan sınıflandırmalarda başlangıç ortalama Doğruluk oranı %97,66 ile RO ve KA sınıflandırıcıları ile elde ediliyor. GA ile özellik seçiminden sonra ise %100 ortalama Doğruluk oranı ile RO ve KA ile elde ediliyor. Seçilen özellik sayısı yine sınıflandırıcıya göre değişmektedir. En yüksek ortalama Doğruluk oranlarının elde edildiği sırasıyla RO’ da ve KA’da seçilen özellik sayısı 10’dur.

Tablo 5. Cleveland kalp hastalıkları veri kümesi ile elde edilen sonuçlar (Results obtained with the Cleveland heart diseases data set)

Sınıflandırma Yöntemi	Başlangıç Doğruluk (%)	Seçilen Özellik Sayısı	En Düşük Doğruluk (%)	Ortalama Doğruluk (%)	En Yüksek Doğruluk (%)
Yapay Sinir Ağları	81,71	10	84,04	87,93	94,16
Destek Vektör Doğ.	78,98	8	81,71	82,10	82,87
Destek Vektör Rad.	67,70	10	69,64	80,54	86,38
Rastgele Orman	97,66	10	100	100	100
Lojistik Regresyon	78,21	8	82,49	82,87	83,26
Karar Ağacı	97,66	10	100	100	100
K en yakın Komşular	71,98	8	82,87	85,21	88,32

GA ile özellik seçiminin sınıflandırma başarısına etkisine bakıldığında bütün sınıflandırıcılarda doğruluk oranının yine yükseldiği görülmektedir. Ortalama değerlere bakıldığında sınıflandırma performansının YSA'da yaklaşık %6, D-DVM'de yaklaşık %4, R-DVM'de yaklaşık %12, RO'da yaklaşık %2,5, LR'da yaklaşık %4, KA'da yaklaşık %2,5, K-YK'da yaklaşık %13'lük bir artış görülmektedir.

4.5. Parkinson Hastalığı Veri kümesi (Parkinson's Disease Data Set)

Parkinson Hastalığı Veri kümesinde sınıflandırmada kullanılan 22 özellik ve toplamda 195 kayıt ile yapılan özellik seçimi uygulamasında elde edilen sonuçlar Tablo 6' da verilmiştir.

Tablo 6. Parkinson hastalığı veri kümesi ile elde edilen sonuçlar (Results obtained with the Parkinson's disease data set)

Sınıflandırma Yöntemi	Başlangıç Doğruluk (%)	Seçilen Özellik Sayısı	En Düşük Doğruluk (%)	Ortalama Doğruluk (%)	En Yüksek Doğruluk (%)
Yapay Sinir Ağları	83,67	16	91,83	92,89	93,87
Destek Vektör Doğ.	87,75	13	93,87	93,87	93,87
Destek Vektör Rad.	83,67	16	85,71	86,52	89,79
Rastgele Orman	91,83	16	93,87	94,43	95,91
Lojistik Regresyon	89,79	14	91,83	91,83	91,83
Karar Ağacı	87,75	12	93,87	95,91	97,95
K en yakın Komşular	83,67	16	91,83	91,83	91,83
Ada Boost	85,71	16	93,87	94,26	95,91

Özellik seçimi öncesi 22 özellikle yapılan sınıflandırmalarda başlangıç ortalama Doğruluk oranı %91,83 ile RO sınıflandırıcı ile elde ediliyor. GA ile özellik seçiminden sonra ise %95,91 ortalama Doğruluk oranı ile KA ile elde ediliyor. Seçilen özellik sayısı yine sınıflandırıcıya göre değişmektedir. Örneğin en yüksek ortalama Doğruluk oranlarının elde edildiği sırasıyla KA' da seçilen özellik sayısı 12, RO'da seçilen özellik sayısı 16 ve D-DVM'de seçilen özellik sayısı 13'dür.

GA ile özellik seçiminin sınıflandırma başarısına etkisine bakıldığında bütün sınıflandırıcılarda doğruluk oranının yine yükseldiği görülmektedir. Ortalama değerlere bakıldığında sınıflandırma performansının YSA'da yaklaşık %9, D-DVM'de yaklaşık %6, R-DVM'de yaklaşık %4, RO'da yaklaşık %3, LR'da yaklaşık %2, KA'da yaklaşık %8, K-YK'da yaklaşık %8'lük bir artış görülmektedir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, çok sayıda karmaşık verilere sahip olan tıbbi verilerden özellik seçimi yapmak ve en uygun özellik alt kümesini oluşturarak sınıflandırma başarısını artırmak için genetik algoritma (GA) içeren bir model önerilmiştir. Önerilen yöntemin performansını değerlendirmek için en çok bilinen ve rahatlıkla ulaşılabilen Çalışmada Kaliforniya Üniversitesi Irvine (UCI) makine öğrenme laboratuvarındaki tıbbi veri tabanlarından, Pima Indian diyabet, Wisconsin Göğüs Kanseri, Hepatitler, Cleveland Kalp Hastalıkları ve Parkinson veri kümesi olmak üzere 5 tıbbi veri kümesi ile uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamalarda Yapay Sinir Ağları (YSA), doğrusal ve radyal çekirdekli Destek Vektör Makineleri (DVM), Karar Ağacı (KA), Lojistik Regresyon (LR), Rastgele Ormanlar (RO), K en yakın Komşu (K-YK) olmak üzere 7 adet denetimli sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır.

Yapılan uygulamalarda elde edilen sonuçlar GA ile yapılan özellik seçimi ile yapılan sınıflandırmalarda Doğruluk oranının dolayısıyla sınıflandırma performansının veri kümesine bağlı olarak ortalama %2 ile %21 arasında artış sağladığını ortaya koymuştur. Çalışmalarda özellik sayısı arttıkça özellik seçiminin sağladığı performans artışının da yükseldiği görülmektedir. Farklı veri kümeleri ile yapılan çalışmada kategorik, sayısal ve karma veri türleri dahil olmak üzere farklı tıbbi veri türleri için genetik algoritmanın özellik seçiminde çok iyi performansı

sunmaktadır. Burada özellik seçimi ile özelliklerin azaltılmasıyla sınıflandırma hızının da azaldığı göz önüne alınarak yöntemin oldukça başarılı olduğu görülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalarda RO sınıflandırıcının bütün veri kümelerinde iyi sonuçlar verdiği görülmekte ve tıbbi veri kümelerindeki sınıflandırma başarısı ile öne çıkmaktadır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda önerilen modelle derin öğrenme yöntemleri kullanılarak sınıflandırma başarısına yapacağı katkılar araştırılabilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- Aalaei, S., Shahraki, H., Rowhanimanesh, A., Eslami, S., 2016. Feature selection using genetic algorithm for breast cancer diagnosis: experiment on three different datasets. *Iranian journal of basic medical sciences*, 19(5), 476.
- Abdollahi, J., Nouri-Moghaddam, B., 2021. Feature selection for medical diagnosis: Evaluation for using a hybrid Stacked-Genetic approach in the diagnosis of heart disease. *arXiv preprint arXiv:2103.08175*.
- Booker, L. B., Goldberg, D. E., Holland, J. H., 1989. Classifier systems and genetic algorithms. *Artificial intelligence*, 40(1-3), 235-282.
- Tutorials Point, 2016. *Artificial Intelligence and Python*, www.tutorialspoint.com.
- Ba-Alwi, F. M., Hintaya, H. M., 2013. Comparative study for analysis the prognostic in hepatitis data: data mining approach. *Spinal Cord*, 11(12).
- Chen, C. W., Tsai, Y. H., Chang, F. R., Lin, W. C., 2020. Ensemble feature selection in medical datasets: Combining filter, wrapper, and embedded feature selection results. *Expert Systems*, 37(5), e12553.
- Chiesa, M., Maioli, G., Colombo, G. I., & Piacentini, L. 2020. GARS: Genetic Algorithm for the identification of a Robust Subset of features in high-dimensional datasets. *BMC bioinformatics*, 21(1), 1-11.
- Deperlioglu, O., 2019. Classification of segmented phonocardiograms by convolutional neural networks. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 10(2), 5-13.
- Ershadi, M. M., & Seifi, A. 2022. Applications of dynamic feature selection and clustering methods to medical diagnosis. *Applied Soft Computing*, 126, 109293.
- Goldberg, D. E. 1989. *Genetic algorithms in search. Optimization, and machine learning*.
- Habib, M., Aljarah, I., Faris, H., & Mirjalili, S. 2020. Multi-objective particle swarm optimization: theory, literature review, and application in feature selection for medical diagnosis. *Evolutionary machine learning techniques*, 175-201.
- Jaganathan, P., Kuppuchamy, R., 2013. A threshold fuzzy entropy-based feature selection for medical database classification. *Computers in Biology and Medicine*, 43, 2222-2229.
- Jothi, N., Husain, W., Rashid, N. A., Syed-Mohamad, S., 2019. Feature Selection Method using Genetic Algorithm for Medical Dataset. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 9(6), 1907-1912.
- Kankanhalli, A., Hahn, J., Tan, S., Gao, G., 2016. Big data and analytics in healthcare: Introduction to the special section. *Information Systems Frontiers*, 18(2), 233-235.
- Khadir, D.A., Amanullah, K.M. 2017. An Implementation of genetic algorithm-based feature selection approach over medical datasets.
- Kumar, C. S., Thangaraju, P. 2021. Optimal Feature Subset Selection Method for Improving Classification Accuracy of Medical Datasets. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 3892-3913.
- Little, M. A., McSharry, P. E., Hunter, E. J., Ramig L.O., 2008. Suitability of dysphonia measurements for telemonitoring of Parkinson's disease. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*.
- Naheed, N., Shaheen, M., Khan, S. A., Alawairdhi, M., & Khan, M. A., 2020. Importance of features selection, attributes selection, challenges and future directions for medical imaging data: a review. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 125(1), 314-344.
- Nadimi-Shahraki, M. H., Banaie-Dezfouli, M., Zamani, H., Taghian, S., & Mirjalili, S. 2021. B-MFO: a binary moth-flame optimization for feature selection from medical datasets. *Computers*, 10(11), 136.
- Machine Learning Notes, Jawaharlal Nehru Technological University, Kakinada, <https://www.studocu.com/in/document/jawaharlal-nehru-technological-university-kakinada/computer-science-engineering/machine-learning-notes/17339474>. Son erişim: 16.05.2022.
- Mwadulo, M. W., 2016. A review on feature selection methods for classification tasks.
- Parthiban, R., Usharani, S., Saravanan, D., Jayakumar, D., Palani, D. U., StalinDavid, D. D., & Raghuraman, D. (2021). Prognosis of chronic kidney disease (CKD) using hybrid filter wrapper embedded feature selection method. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(9), 2511-2530.
- Rostami, M., Forouzandeh, S., Berahmand, K., & Soltani, M. (2020). Integration of multi-objective PSO based feature selection and node centrality for medical datasets. *Genomics*, 112(6), 4370-4384.
- Rostami, M., Berahmand, K., Forouzandeh, S., 2021. A novel community detection based genetic algorithm for feature selection. *Journal of Big Data*, 8(1), 1-27.
- Salama, G. I., Abdelhalim, M., Abd-elghany Zeid, M., 2012. Breast cancer diagnosis on three different datasets using multi-classifiers." *Breast Cancer (WDBC)* 32(569): 2.
- Samant, R., Rao, S., 2013. A study on Feature Selection Methods in Medical Decision Support Systems. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2(11), 615-619.

- Sokolova, M., Lapalme, G., 2009. A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information processing & management*, 45, 4, 427-437.
- Tuba, E., Strumberger, I., Bezdán, T., Bacanin, N., Tuba, M., 2019. Classification and feature selection method for medical datasets by brain storm optimization algorithm and support vector machine. *Procedia Computer Science*, 162, 307-315.
- UCI Machine Learning Repository, 2007, <https://archive.ics.uci.edu/ml/index.php>, Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science, Son erişim 15 Mayıs 2022.
- Wang, Y., Ma, L. (2009, January). Feature selection for medical dataset using rough set theory. In *WSEAS International Conference. Proceedings. Mathematics and Computers in Science and Engineering (No. 3)*. World Scientific and Engineering Academy and Society.
- Wirnsansky, E., 2020. *Hands-on genetic algorithms with Python: applying genetic algorithms to solve real-world deep learning and artificial intelligence problems*. Packt Publishing Ltd.
- Yeniterzi, S., Yeniterzi, R., Küçükural, A., & Sezerman, U., 2007. Feature selection with genetic algorithms on cardiac arrhythmia database. In the 2nd International Symposium on Health Informatics and Bioinformatics (HIBIT).



İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİSİ ALTINDA BURDUR GÖLÜ SU SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİNİN İSTATİSTİKSEL OLARAK İNCELENMESİ

Murat PINARLIK^{1*}, Abdulkadir İBİŞ², Zeliha SELEK³

^{1,3}Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye
²Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Teknoloji İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*İklim Değişikliği,
Korelasyon Analizi,
Burdur Gölü,
Doğrusal Enterpolasyon,
Buharlaşma Etkisi.*

Öz

Türkiye için küresel ısınma etkisi ile yağışların azalacağı, buharlaşma ve sıcaklık değerlerinin artacağı tahmin edilmektedir. Bu etkenler göz önüne alındığında göl, rezervuar gibi su kütlelerinde ciddi seviye ve hacim düşüşleri meydana gelebilecektir. Bu çalışmada, Burdur Gölü ele alınarak iklim değişikliği etkisi altında göl su seviyesindeki değişimler incelenmiştir. İlk olarak, 1975-2020 yılları arasındaki göl parametreleri ile iklim parametreleri arasındaki ilişki korelasyon yöntemi ile irdelenmiştir. Daha sonra, 2021-2050 yılları arasındaki göl seviye ve hacim değişim tahminlerine iklim projeksiyonu tahminleri eklenmiştir. İklim projeksiyonlarına göre sıcaklığın referans döneme göre %11,38 arttığı, yağışların %4,5 azaldığı ve buharlaşmanın ise %15 arttığı görülmüştür. Yapılan analizler sonucunda Burdur Gölü su seviyesinin 1975-2020 periyodunda düşüş trendinde olduğu ve bu durumun 2021-2050 periyodunda devam edeceği gözlenmiştir. Ayrıca, yapılan korelasyon analizleri sonucunda göl seviyesi ile buharlaşma arasında (-0,6452) negatif yönlü orta derecede anlamlı ilişki, göl seviyesi ile yağış arasında ise (-0,1066) negatif yönlü çok zayıf derecede ilişki olduğu belirlenmiştir.

STATISTICAL INVESTIGATION OF WATER LEVEL CHANGES IN BURDUR LAKE UNDER THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE

Keywords

*Climate Change,
Correlation Analysis,
Burdur Lake,
Linear Interpolation,
Effect of Evaporation.*

Abstract

It is estimated that precipitation will decrease and evaporation and temperature values will increase with the effect of global warming for Turkey. Considering these factors, serious level and volume decreases may occur in water bodies such as lakes and reservoirs. In this study, the changes in the lake water level under the effect of climate change were investigated by considering Burdur Lake. First of all, the relationship between lake parameters and climate parameters between 1975 and 2020 was examined by the correlation method. Then, climate projections estimates were added to the lake level and volume change estimates for the years 2021-2050. According to the climate projections, it was observed that the temperature increased by 11.38% compared to the reference period, the precipitation decreased by 4.5% and the evaporation increased by 15%. As a result of the analyzes made, it was observed that the water level of Burdur Lake was in a downtrend in the 1975-2020 period and this situation will continue in the 2021-2050 period. Besides, as a result of the correlation analysis, it was determined that there was a moderately significant negative relationship between the lake level and evaporation (-0.6452), and a very weak negative relationship between the lake level and precipitation (-0.1066).

Alıntı / Cite

Pınarlık, M., İbiş, A., Selek, Z., (2023). İklim Değişikliği Etkisi Altında Burdur Gölü Su Seviyesi Değişimlerinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 81-93.

* İlgili yazar / Corresponding author: muratpinarlik@gazi.edu.tr, +90-312-202-8901

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
M. Pınarlık, 0000-0001-8783-825X	Başvuru Tarihi / Submission Date	17.07.2022
A. İbiş, 0000-0002-1199-5934	Revizyon Tarihi / Revision Date	27.09.2022
Z. Selek, 0000-0002-5593-5538	Kabul Tarihi / Accepted Date	17.10.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

STATISTICAL INVESTIGATION OF WATER LEVEL CHANGES IN BURDUR LAKE UNDER THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE

Murat PINARLIK^{1†}, Abdulkadir İBİŞ², Zeliha SELEK³

^{1,3}Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Teknoloji İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Highlights (At least 3 and maximum 4 sentences)

- The effect of climate change on precipitation and evaporation.
- The link between changing climate parameters and lake parameters.
- Lake volume, lake level and climate projection estimations.

Graphical Abstract

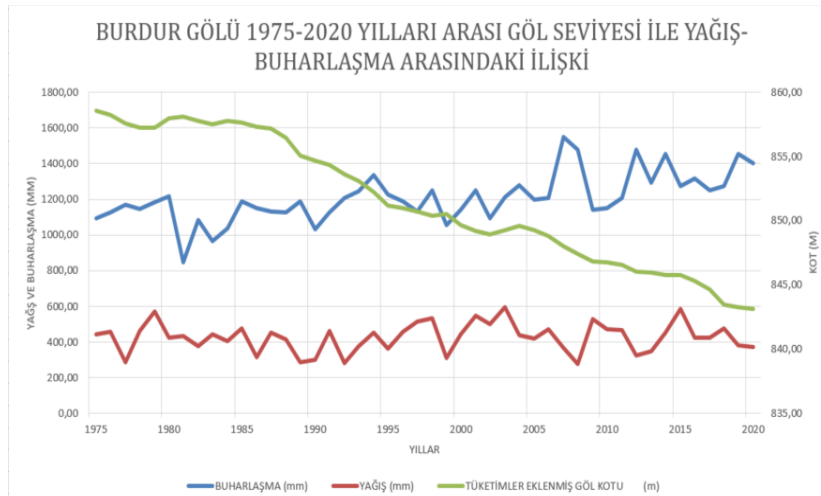


Figure. Burdur Lake Level, The Relationship Between Precipitation And Evaporation (1975 – 2020)

Purpose and Scope

The aim of the study is to reveal the effect of changing climate parameters on lake level changes.

Design/methodology/approach

Correlation analysis was used to determine the correlations of changing climate parameters with lake level changes.

Findings

As a result of the correlation analysis, a moderately significant negative correlation was found between the lake level and evaporation (-0,6452), and a very weakly significant negative relationship between the lake level and precipitation (-0,1066). In addition, it has been observed that there is a decreasing trend in the lake level over the years.

Originality

Although there are some studies on the change in Burdur lake level, the innovative aspect of this study is that the effects of changing climate parameters (temperature, evaporation, precipitation) on the lake level change and the link between them are examined.

[†] Corresponding author: muratpinarlik@gazi.edu.tr, +90-312-202-8901

1. Giriş (Introduction)

Atmosferde meydana gelen olayların dünyamıza uzun süreli etkisine iklim denilmektedir. İnsanoğlunun varoluşundan bu yana iklim sürekli değişme eğilimi içerisinde. Sanayi devriminin ortalarında etkisini iyice arttırmaya başlayan iklim değişikliği insanoğlunun yaptığı faaliyetlerden sonra hızını arttırmaya başlamıştır (Kanber vd., 2010). Fosil yakıt kullanımındaki yoğun artışa bağlı olarak atmosfere salınan sera gazlarındaki artış, dünya üzerindeki yeşil alanların azaltılması, ve hızlı sanayileşme küresel sıcaklıklardaki artışa neden olmuştur. Bunun yanında, nüfustaki artış ve nüfustaki artışa bağlı olarak su kaynaklarındaki aşırı tüketim su kaynakları üzerindeki baskıyı arttırmıştır (Küçükayman, 2010).

Küresel ısınmanın oluşturduğu iklim değişikliği, yağış değişkenliklerinin artmasına neden olurken, insanoğlunun hayatını devam ettirebilmesi için gerekli olan su ihtiyacının karşılanmasına da olumsuz etkileri olmaktadır. Sonuç olarak küresel ısınmanın neden olacağı belirsizlikler toplum için ciddi sıkıntılara ve sorunlara yol açacaktır (Mendelsohn vd., 1994). Bu sebepten dolayı; insanoğlu küresel ısınmanın neden olacağı belirsizlik ve sorunlara çözüm önerileri getirmeye çalışmaktadır. Ancak belirsizliklerle dolu bir süreç olduğu için getirilen çözüm önerilerinin işe yarayıp yaramayacağı bir soru işaretidir (Usta, 2016).

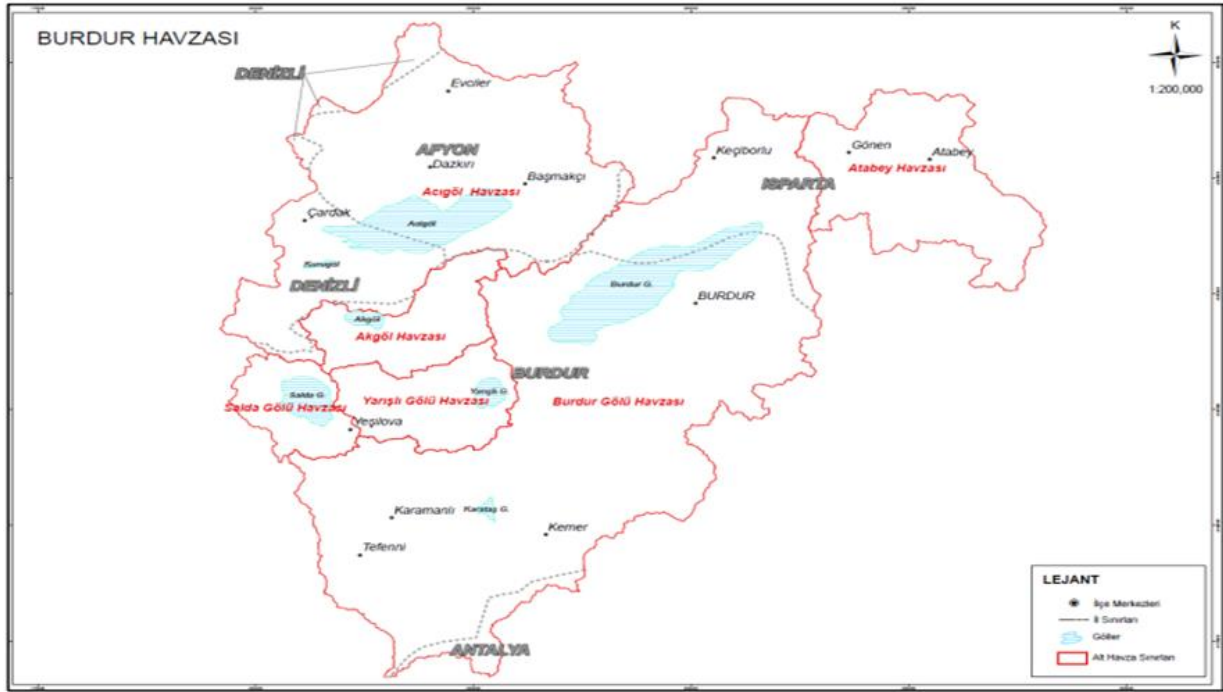
Genel olarak dünyada kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarına göre ülkeler üç sınıfa ayrılabilir. Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 2000 m³ ve üzerindeki ülkeler su zengini, 1000-2000 m³ arasındaki ülkeler su sıkıntısı çeken ülkeler, 1000 m³ ve altındaki ülkeler ise su fakiri ülkeler olarak tanımlanmaktadır (Aktaş, 2018). Türkiye; üç tarafı denizlerle çevrili ve göl, nehir sayısı bakımından şanslı bir coğrafya üzerinde bulunmaktadır (Küçükayman, 2010). Ancak ülkemizde kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı ortalama olarak 1519 m³ civarında olduğu için Türkiye su sıkıntısı çeken ülkeler arasındadır (Göncü vd., 2017). Akdeniz iklim kuşağında yer alan Türkiye karmaşık iklim yapısına sahip ve küresel ısınmanın sebep olacağı iklim değişimlerinden en çok etkilenecek ülkelerden birisi olarak sayılmaktadır. Araştırmalar sonucunda Türkiye'nin 2025 yılında su kıtlığı eşiğine yaklaşacağı sonucuna ulaşılmaktadır (Köle, 2014). Türkiye'de geçmişten günümüze kadar dünyadaki sıcaklıkların artmasıyla beraber tehlikesini arttırmaya başlamış bir kuraklık tehlikesiyle karşı karşıyadır. Bu tehlikeyle karşı karşıya kalmasının sebepleri arasında, , yağışların ve su kaynaklarının bölgeden bölgeye çok fazla farklılık göstermesi ve su kaynaklarının uzun süreli işletim planları yerine kısa vadeli işletim planlarının yapılması olarak gösterilebilir (Bahadır, 2012).

Göller, ülkemiz için tarımsal sulama, turizm, balıkçılık gibi farklı amaçlarla kullanılmakta ve ayrıca göller bulunduğu kent ve komşu yerleşim yerleri için vazgeçilmez birer su kaynağıdır (Davraz vd., 2014). Bu nedenle, gölün mevcut hidrolojik koşulları çeşitli sürdürülebilir kullanımlar için tahmin edilmek zorundadır. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişiklikleri sonucunda göl seviyelerinde genel olarak azalmaların meydana geldiği görülmüştür. Göl seviyelerindeki azalmaların nedenlerinin öğrenilebilmesi için göl parametreleriyle beraber iklim parametrelerinden sıcaklık, yağış ve buharlaşma verilerinin beraber incelenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Göl parametreleri ve iklim parametreleri arasındaki ilişkileri incelemenin farklı yöntemleri mevcuttur. Kovada Gölü'nde seviye değişimlerinin istatistiksel analizi çeşitli programların sağladığı korelasyon analiziyle ve contour plot analizleri ile incelenmiştir (Bahadır, 2012). Van Gölü'ndeki seviye değişimlerinin iklim parametreleri ile ilişkisini excel programının sunduğu korelasyon ve regresyon formülleriyle incelenmiştir (Erginyürek, 2018). ICESat uydusundan ve Geoscience Lazer Altimetre sisteminden faydalanarak Selin Co ve Nam Co göllerinin seviye değişiklikleri incelenmiştir (Zhang vd., 2010). Urmia Gölü'ndeki su seviyesi değişiklikleri loess (STL) aracını, Pettitt ve Mann-Kendall testlerini kullanılarak incelenmiştir (Fathian vd., 2014). Burdur, Eğirdir, Sapanca ve Tuz Gölleri su seviyeleri nonparametrik istatistiksel yöntemler kullanılarak incelenmiştir (Göncü vd., 2017). Çalışmalar geneline bakıldığında göllerin akım, sıcaklık, buharlaşma ve yağış verilerini kullanarak ilişkilerin incelendiğini, yer altı su seviyesi ile göl su seviyesi arasındaki etkileşim göz ardı edildiği görülmüştür. Bunun için Urmia Gölü yer altı su seviyesi ve göl su seviyesi arasındaki etkileşim de hesaba katılarak çalışmalar yapılmıştır (Vaheddoost, 2017).

Bu çalışmanın amacı, Burdur Gölü'ndeki tahmini seviye ve hacim değişimlerinin iklim projeksiyonları ile beraber incelenerek ileriye yönelik su bilançosunu belirlemektir. Bu kapsamda ilk olarak 1975-2020 yılları arasında Burdur Gölü göl seviyeleri ile iklim parametreleri arasındaki ilişki korelasyon yöntemi ile irdelenmiştir. Daha sonra 2021-2050 yılları için iklim değişikliği ile değişecek olan sıcaklık, yağış ve buharlaşma parametreleri dikkate alınarak bu periyottaki göl seviyesi tahminleri yapılmıştır. Doğrusal enterpolasyon yardımıyla mevcut kot-alan-hacim verileri kullanılarak gölün hacim değerleri de elde edilmiştir. Böylece 2021-2050 periyodunda iklim değişikliği etkisi altında göl su seviyesi ve hacim değerleri tahmin edilmiştir.

2. Çalışma Alanı (Study Area)

Isparta ve Burdur il sınırları içerisinde bulunan Burdur Gölü, 2012 yılında yapılan ölçümlere göre 4965,40 hm³ su hacmine sahip olup, 122,53 km² lik bir alanı kaplamaktadır. Çalışma alanının koordinatlarına bakıldığında 37° 36 "5.11" -37° 57 "26.77" K ve 29° 41 "27.37" ' - 30° 25" 16.87 " D olduğu görülmektedir (Sabuncu, 2020). Göldeki maksimum su seviyesi 857,54 metredir ve göl bu seviyeye 1970 yılında ulaşmıştır. Gölün güncel su seviyesi ise 839,70 metredir. Burdur Gölü'nü besleyen temel su kaynakları yağışlar, göl yüzeyine ulaşmakta olan akarsular ve yer altı su kaynaklarıdır. Göl, Burdur Kapalı Havzasında yer almaktadır ve bu nedenle su kayıplarına buharlaşma ve yer altı su kaçakları neden olmaktadır. Göl seviyeleri incelendiğinde yıllık bazda su seviyesinin aralık ayında yağış trendinin artması ile artışa geçtiği, yaz aylarında ise azalış trendinin başladığı gözlemlenmektedir. 1980-1996 yılları arasında göl seviyesinde meydana gelen 7,70 metrelik azalmanın 6,94 metresinin yağış ile buharlaşma farkından, 0,83 metresinin ise göle ulaşan su miktarındaki azalmadan oluştuğu tespit edilmiştir (TÜBİTAK, 2009). Burdur Gölü'nü de içine alan Burdur Kapalı Havzasının genel görünümü ve Burdur Gölü'nün havza içindeki konumu Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Burdur havzasının genel görünümü (overview of Burdur Basin) (TÜBİTAK,2009)

1985, 1995, 2005 ve 2018 yıllarında Burdur Gölünden alınan uydu görüntüleri incelendiğinde, göl hacminde ciddi bir azalmanın olduğu ve bununla birlikte göl seviyesinde meydana gelen düşüş trendi açıkça ortaya konulmaktadır. Burdur Gölüne ait uydu görüntüleri Şekil 2'de yer almaktadır.



Şekil 2. Burdur Gölü'nün 1985, 1995, 2005, 2018 uydu görüntüleri (1985, 1995, 2005, 2018 Satellite images of Burdur Lake) (Google Earth, 2021)

3. Materyal ve Metot (Material and Method)

3.1. Veriler (Data)

Bu çalışmada, veri kaynağı olarak sıcaklık, yağış ve buharlaşma projeksiyonları ile tahmini göl seviyesi ve hacmi değerleri kullanılmıştır (MAKÜ, 2012; Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019). Ayrıca, Burdur iline ait iklim verileri temin edilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Burdur Gölü'ne ait kot-alan-hacim verileri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Burdur Gölü kot-alan-hacim tablosu (elevation-area-volume table of Burdur lake) (DSİ, 2017)

Kot (m)	Alan (km ²)	Hacim (hm ³)	Kot (m)	Alan (km ²)	Hacim (hm ³)	Kot (m)	Alan (km ²)	Hacim (hm ³)
780	0,00	0,00	808	64,26	960,80	836	114,72	3396,97
781	0,07	0,01	809	65,93	1025,90	837	117,11	3512,91
782	3,11	1,37	810	67,53	1092,64	838	119,61	3631,26
783	6,23	6,08	811	69,08	1160,94	839	122,43	3752,24
784	8,58	13,49	812	70,66	1230,81	840	125,72	3876,30
785	11,30	23,33	813	72,22	1302,26	841	129,44	4003,84
786	15,23	36,44	814	73,71	1375,22	842	134,23	4135,56
787	18,22	53,24	815	75,17	1449,66	843	140,46	4272,88
788	21,09	72,88	816	76,61	1525,55	844	145,69	4415,02
789	23,93	95,39	817	78,05	1602,89	845	151,29	4564,48
790	26,68	120,71	818	79,54	1681,68	846	156,90	4718,56
791	29,20	148,64	819	81,02	1761,96	847	162,52	4878,25
792	31,58	179,04	820	82,46	1843,70	848	168,63	5043,81
793	33,85	211,77	821	83,94	1926,89	849	174,00	5215,00
794	36,14	246,77	822	85,45	2011,58	850	179,98	5392,05
795	38,31	283,99	823	86,98	2097,79	851	185,27	5574,71
796	40,59	323,43	824	88,58	2185,56	852	191,17	5762,86
797	42,91	365,20	825	90,31	2275,00	853	196,33	5956,61
798	45,11	409,21	826	92,15	2366,21	854	201,34	6155,44
799	47,24	455,38	827	94,09	2459,32	855	206,22	6359,23
800	49,41	503,71	828	96,13	2554,43	856	211,14	6567,90
801	51,45	554,15	829	98,26	2651,62	857	217,13	6781,85
802	53,45	606,59	830	100,53	2751,00	858	223,42	7002,14
803	55,39	661,02	831	102,93	2852,73	859	227,83	7227,87
804	57,26	717,34	832	105,35	2956,87	860	230,86	7457,35
805	59,14	775,54	833	107,70	3063,40			
806	60,92	835,58	834	110,02	3172,27			
807	62,62	897,36	835	112,36	3283,46			

1975-2020 yılları arasında Burdur Gölü'ne ait göl kotu, göl hacmi ve gölün yüzey alanı ve havzadaki mevcut net su tüketim miktarı Tablo 2'de verilmiştir. Yıllık veriler baz alınarak yapılan incelemede Şekil 2'de verilen uydu görüntülerini doğrular nitelikte sonuçlar görülmektedir. Bu periyotta su tüketiminde artış görülürken, göl kot-alan-hacim değerlerinde düşüş net olarak gözlenmektedir. Tablo 2'de yer alan havza mevcut su tüketimleri 1975-2020 yılları arasındaki havza halk sulamalarının, havza yer üstü sulamalarının, havza yeraltı sulamalarının, il özel idare göletlerinin su tüketimlerinin, DSİ 1000 ha altı ve üstü sulamaları su tüketimlerinin, havza içme suyu kayıplarının ve havza tesis organize sanayi bölgesi kayıplarının toplamıdır.

Tablo 2. Burdur Gölü kot-alan-hacim ve su tüketimi verileri (elevation-area-volume and water consumption data of Burdur Lake)

Yıllar	Havza mevcut net su tüketimi (hm ³)	Göl Hacmi (hm ³)	Göl Kotu (m)	Göl Alanı (km ²)
1975	118,855	7018,975	858,57	223,96
1976	118,855	7011,865	858,23	223,73
1977	118,855	6868,855	857,54	219,91
1978	118,855	6790,975	857,22	217,42
1979	118,855	6790,975	857,22	217,42
1980	118,855	6899,345	857,96	220,89
1981	118,855	6917,545	858,11	221,47
1982	118,855	6908,425	857,75	221,18
1983	118,855	6868,845	857,53	219,91
1984	118,855	6908,425	857,75	221,18
1985	119,162	6899,652	857,67	220,90
1986	119,162	6791,592	857,28	217,44
1987	119,162	6681,172	857,16	214,78
1988	119,162	6616,042	856,43	212,69
1989	120,531	6270,601	855,04	205,10
1990	126,508	6227,138	854,64	203,69
1991	132,870	6132,138	854,33	200,60
1992	132,870	6029,81	853,59	198,74
1993	132,870	5876,19	853,10	194,93
1994	133,946	5734,096	852,25	190,22
1995	133,946	5584,176	851,20	185,58
1996	138,558	5538,748	851,01	184,07
1997	138,558	5437,208	850,73	181,49
1998	141,238	5311,808	850,36	177,30
1999	141,633	5341,653	850,52	178,31
2000	141,633	5247,743	849,67	175,09
2001	141,633	5141,573	849,19	171,55
2002	141,633	5107,083	848,95	170,76
2003	143,547	5143,467	849,26	171,96
2004	143,547	5237,867	849,60	174,76
2005	143,547	5143,537	849,27	171,96
2006	143,547	5108,947	848,79	170,81
2007	143,547	4967,327	848,00	165,49
2008	143,547	4864,325	847,45	162,06
2009	143,547	4795,106	846,86	159,45
2010	143,547	4765,813	846,73	158,47
2011	143,547	4730,757	846,58	157,31
2012	143,547	4673,086	846,03	154,89
2013	153,612	4615,87	845,99	152,99
2014	153,612	4552,912	845,76	150,24
2015	153,612	4568,028	845,80	151,41
2016	153,612	4510,829	845,33	148,85
2017	153,612	4418,907	844,63	145,82
2018	153,612	4335,579	843,44	142,52
2019	153,612	4269,622	843,27	138,58
2020	153,612	4236,017	843,16	137,49

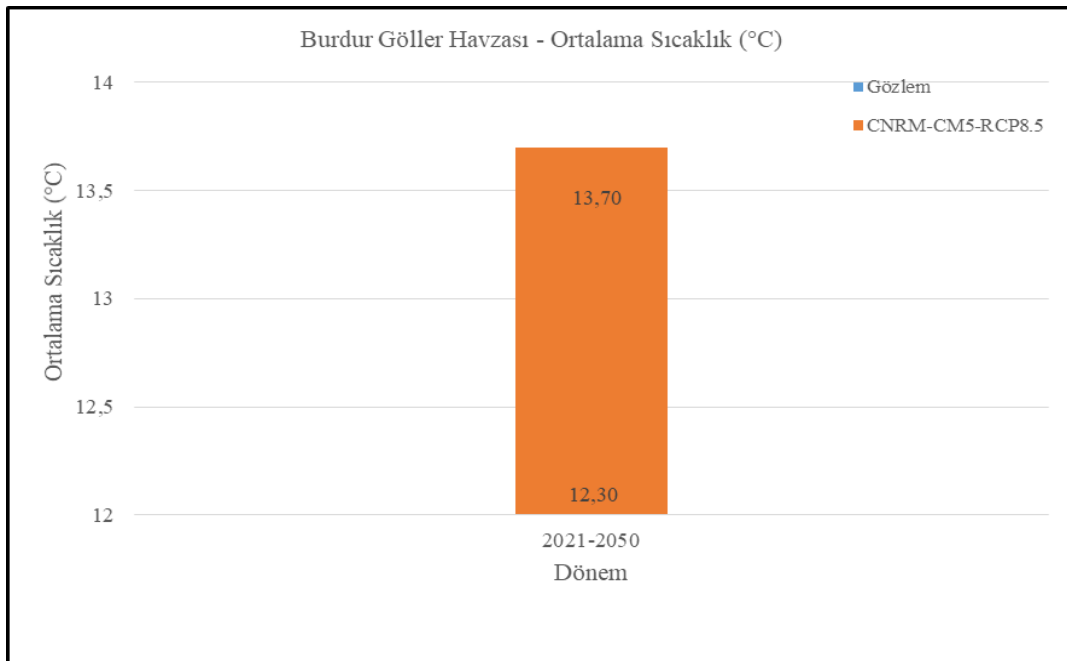
Ayrıca, 1975-2020 yılları arasındaki Burdur iline ait iklim parametreleri (ortalama sıcaklık, buharlaşma ve yağış) Tablo 3'te gösterilmiştir. Tablo 3'e bakıldığında buharlaşma ve ortalama sıcaklık değerlerinde artış, yağış değerlerinde ise düşüş göze çarpmaktadır. Tablo 3'de yer alan ortalama sıcaklık, buharlaşma ve yağış

parametreleri DSİ Etüd ve Plan Daire Başkanlığı Rasatlar Şube Müdürlüğünden alınmıştır. Kayıt altına alınan iklim parametrelerinin alındığı istasyon bilgileri; istasyon adı Burdur, istasyon numarası 17238'dir. Enlem ve boylam bilgileri 37° 40' - 30° 20' olarak verilmiştir. Burdur Gölü'ne en yakın istasyon olduğu için 17238 numaralı istasyonun iklim parametreleri kullanılmıştır.

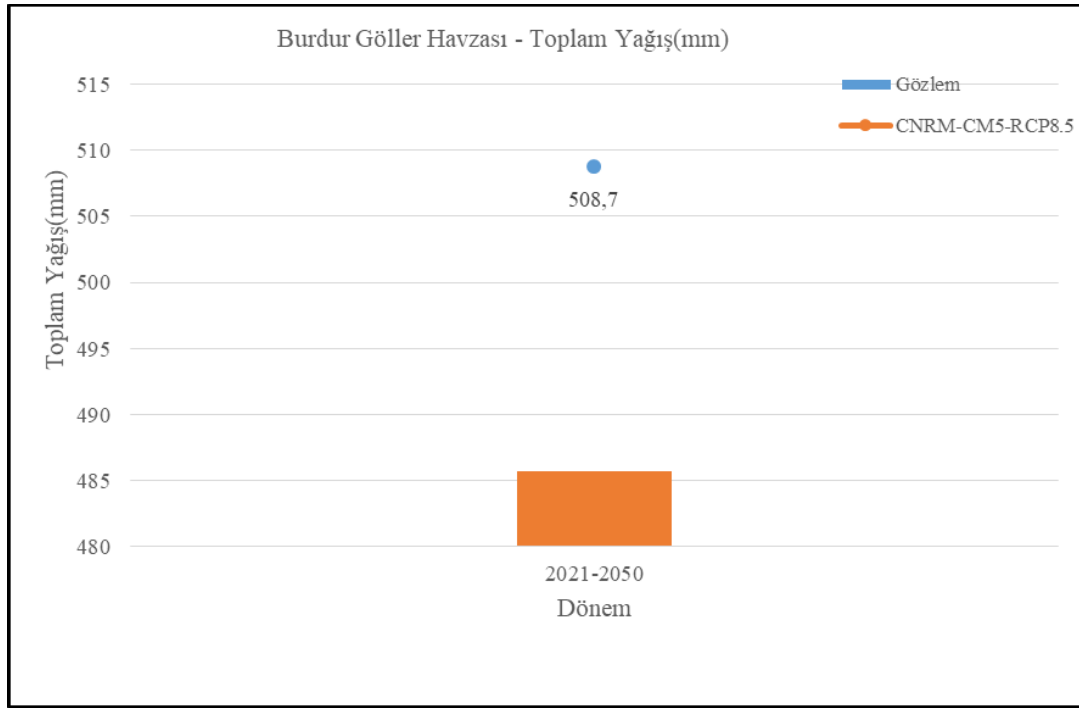
Tablo 3. Burdur iline ait iklim parametreleri (climate parameters of Burdur province) (DSİ, 2017)

Yıllar	Ortalama Sıcaklık (°C)	Buharlaşma (mm)	Yağış (mm)	Yıllar	Ortalama Sıcaklık (°C)	Buharlaşma (mm)	Yağış (mm)
1975	12,60	1093,90	445,40	1998	13,70	1248,00	535,70
1976	12,20	1127,30	457,90	1999	13,80	1054,60	310,70
1977	13,40	1168,70	287,20	2000	12,80	1141,50	444,90
1978	13,30	1144,40	460,50	2001	14,20	1252,00	547,60
1979	13,50	1183,30	571,10	2002	13,00	1093,90	501,00
1980	12,80	1218,80	422,60	2003	13,20	1214,30	594,20
1981	13,50	846,30	434,50	2004	13,30	1276,70	439,70
1982	12,40	1084,40	378,80	2005	13,10	1197,20	417,90
1983	12,10	964,30	445,70	2006	13,40	1209,50	472,10
1984	13,00	1037,60	405,40	2007	14,00	1547,60	368,30
1985	13,00	1190,30	477,20	2008	14,00	1477,40	276,40
1986	13,40	1151,90	315,10	2009	13,90	1139,20	529,70
1987	12,70	1132,30	451,30	2010	15,10	1148,80	472,30
1988	12,90	1126,10	415,10	2011	11,30	1207,70	466,20
1989	13,10	1190,80	288,00	2012	12,60	1477,70	323,60
1990	13,30	1030,30	303,20	2013	14,20	1292,15	346,50
1991	12,70	1126,20	463,70	2014	14,20	1454,40	452,10
1992	11,70	1206,00	280,90	2015	13,90	1275,50	587,49
1993	12,70	1247,30	377,40	2016	13,82	1317,52	425,75
1994	13,80	1336,40	450,60	2017	13,90	1251,71	425,39
1995	13,20	1224,50	363,50	2018	14,36	1272,85	478,87
1996	13,20	1186,70	455,30	2019	14,64	1456,51	380,20
1997	12,40	1133,30	516,40	2020	14,63	1402,94	373,34

2021 ve 2050 yılları arasındaki sıcaklık, yağış ve buharlaşma tahminleri için iklim projeksiyonlarından yararlanılmıştır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Hesaplamalar sırasında sıcaklık ve yağış projeksiyonu kullanılırken, buharlaşma için herhangi bir projeksiyon verisi bulunmadığı için sıcaklık artışına bağlı olarak bu periyotta buharlaşmanın %15 artış göstereceği kabul edilmiş ve bu artış 30 yıla düzenli olarak dağıtılmıştır. Bu kapsamda CNRM-CM5-RCP8.5 iklim değişikliği modeli kullanılarak elde edilen sıcaklık ve yağış tahminlerine ait grafikler Şekil 3 ve 4'te verilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).



Şekil 3. Burdur Gölü havzası sıcaklık projeksiyonu (temperature projection of Burdur Lake basin)



Şekil 4. Burdur göller havzası yağış projeksiyonu (precipitation projection Of Burdur lakes basin)(Tarım Ve Orman Bakanlığı, 2021)

İklim projeksiyonlarında sıcaklık değerleri göz önüne alındığında 2021-2050 yılları arasındaki süreçte sıcaklığın 12,30 °C'den 13,70 °C'ye çıkacağı, yani 1,40 °C artacağı tahmin edilmektedir. Yüzdesele olarak artışına bakıldığında sıcaklığın 2021 yılından 2050 yılına kadar ortalama %11,38 artması beklenmektedir. İklim projeksiyonlarının bir diğeri çıktısı olan yağış projeksiyonu 2021-2050 yılları arasındaki süreçte incelendiğinde yağış miktarının 508,70 mm'den 485,70 mm'ye düşmesi, yani ortalama olarak 23 mm düşeceği tahmin edilmektedir. Yüzdesele olarak azalışına bakıldığında yağışın 2021 yılından 2050 yılına kadar ortalama %4,50 azalması beklenmektedir. Buharlaşma projeksiyonuna dair herhangi bir bilgi bulunmadığı için buharlaşma projeksiyonu için bazı kabuller yapılmıştır. 2021-2050 yılları arasındaki sıcaklık artışının %11,38 olarak tahmin edilmesinden dolayı buharlaşmadaki artışın 2021-2050 yılları arasında %15 olacağı kabulü yapılarak göl seviyesi değişimi ile ilgili hesaplamalarda bu artış miktarı dikkate alınmıştır.

2021 ve 2050 yılları arasındaki sıcaklık, yağış ve buharlaşma tahminleri için iklim projeksiyonlarından yararlanılmıştır. İklim projeksiyonları Tarım ve Orman Bakanlığı'nın iklim değişikliğinin su kaynaklarına olan etkisi projesinden elde edilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Çalışmada kullanılan sıcaklık (12,30 °C ve 13,70 °C) ve yağış (508,7 mm) değerleri projede hesaplanmış değerlerdir. Projede yer alan değerler CNRM-CM5-RCP8.5 iklim modelleri kullanılarak hesaplanmıştır. CNRM-CM5 (Centre National de Recherches Météorologiques – Fransa Ulusal Meteorolojik Araştırma Merkezi) işbirliğiyle geliştirilen bir yer sistem modelidir (Ballı, 2019). Bu model CNRM-GAME (Centre National de Recherches Météorologiques-Groupe d'études de l'Atmosphère Météorologique) ve Cerfacs (Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée) tarafından CMIP5'e katkı yapmak üzere geliştirilmiştir. CNRM-CM5 modeli kış mevsiminde Avrupa üzerinde genel olarak soğuk yanlılık ortaya koymuştur (Cattiaux vd., 2013). Ayrıca radyoaktif zorlanmanın 2100 yılına kadar olan sürecini dikkate alan RCP senaryolarından sera gazı salınımının en yüksek olduğu RCP8.5 senaryosu kullanılarak sıcaklık ve buharlaşma etkilerinin en yüksek seviyeleri dikkate alınmıştır.

3.2. Metot (Method)

Bu çalışmada, mevcut veriler (sıcaklık, yağış, buharlaşma, göl seviyesi, göl hacmi) üzerinde korelasyon analizi yapılmıştır. Ayrıca, göl hacmi ve su seviyesi arasında geçiş yapılırken ara değerlerin bulunması için doğrusal enterpolasyon yönteminden yararlanılmıştır.

Korelasyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasında herhangi bir ilişkinin olup olmadığını, eğer herhangi bir ilişki mevcut ise bu ilişkinin yönünü ve derecesini belirlemeye yarayan bir yöntemdir. Fakat ilgileşim değeri mevcut değişkenler arasındaki ilişkinin nedenini göstermez. Korelasyon katsayısının değer aralığı -1 ile +1 arasındadır (Tablo 4). Bu değer +1 çıkması iki değişken arasında yüksek pozitif ilişkinin bulunduğunu, -1 ise yüksek negatif ilişkinin bulunduğunu göstermektedir. Korelasyon katsayısının 0'a yaklaşması ilişkinin kuvvetinin azaldığını, 0 olması ise iki değişken arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığı anlamına gelir (Terzi, 2018).

Tablo 4. Korelasyon katsayısı değer aralıkları (value ranges of correlation coefficient) (Terzi, 2018)

r (Korelasyon Değerleri)	
0,00-0,25	Çok Zayıf
0,26-0,49	Zayıf
0,50-0,69	Orta
0,70-0,89	Yüksek
0,90-1,00	Çok Yüksek

Korelasyon katsayısı; r, n=gözlem sayısı, x ve y ise korelasyonu hesaplanacak değerler olmak üzere Denklem 1 ile hesaplanır (Terzi, 2018).

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \quad (1)$$

Burdur Gölü'ne ait seviye ve hacim ölçüm değerlerinin düzenlenmesinde (seviye değerlerinden hacim değerlerine geçerken veya hacim değerlerinden seviye değerlerine geçerken) kot-alan-hacim tablosundaki ölçülmüş değerlerden ve mevcut verilerin doğrusal enterpolasyon işleminden faydalanılmıştır. Doğrusal enterpolasyon; bilinmekte olan iki değer arasındaki doğru formülü elde ederek ara değer hesaplanmıştır. (x1,y1) ve (x2,y2) noktalarından geçen doğru denklemi;

$$\frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \quad (2)$$

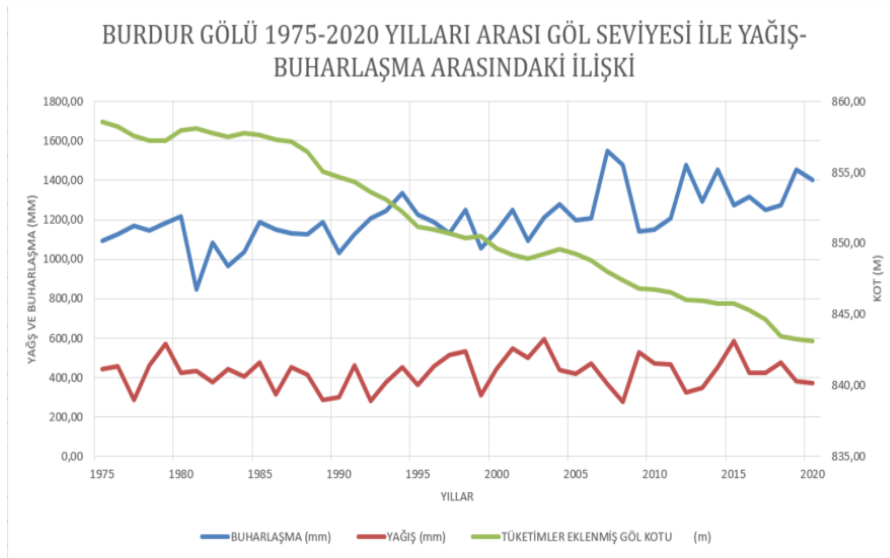
olduğundan x yerine hesaplanmak istenen x1 ara değeri için y1 bulunur (Vatansever, 2011).

4. Bulgular ve Tartışma (Findings and Discussion)

Bu bölümde Burdur Gölü göl seviyesi ile iklim parametreleri arasındaki ilişki korelasyon yöntemi ile tespit edilmiştir. Göl seviyesi ve göl hacminin yıllara göre değişimi belirlenmiş ve oluşan düşüş trendi yorumlanmıştır. Ayrıca iklim projeksiyonları dikkate alınarak göl seviyesi ve hacmi 2021-2050 periyodu için tekrar hesaplanmış ve iklim değişikliğinin göl seviyesi üzerindeki etkileri ile ilgili tahminler ele alınmıştır.

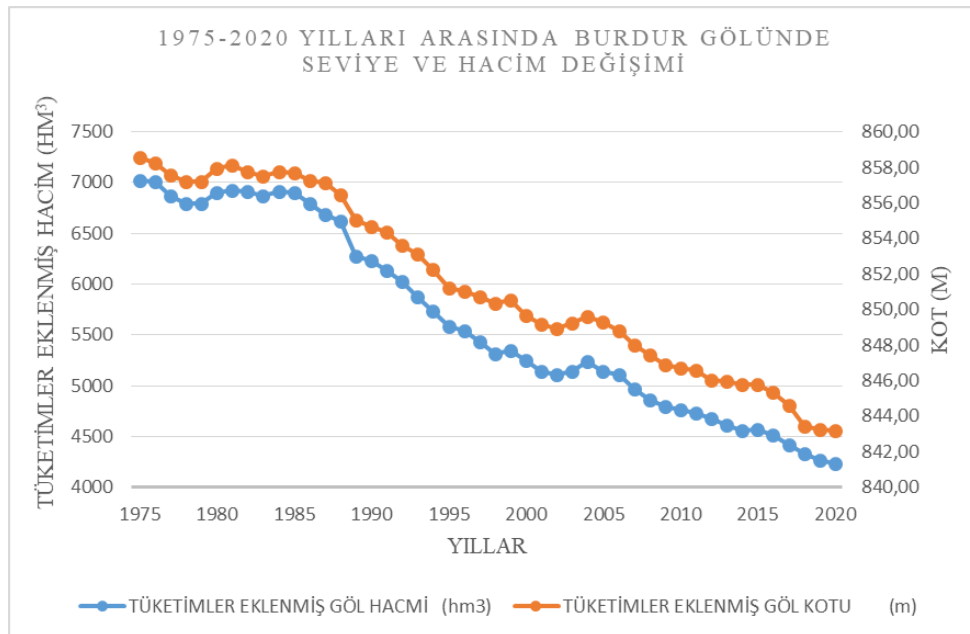
4.1. Göl Seviyesi ve İklim Parametreleri Arasındaki İlişki (Relationship Between Lake Level And Climate Parameters)

Şekil 5'te belirtilen grafikte Burdur Gölü 1975-2020 periyodunda göl seviyesi ile yağış ve buharlaşma arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil 5'de görüldüğü gibi, buharlaşma bu periyotta genel bir artma ya da azalma eğilimi göstermemiştir, ancak periyot başlangıcına göre bir artış söz konusudur. Periyodun başlangıç yıllarında buharlaşma ortalama 1143,52 mm değerlerinde iken periyodun son yıllarında ortalama 1340,31 mm'dir. Yağış için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Bunun nedeni, grafikten de anlaşılacağı gibi 45 yıllık dönemde yağışın artma ve azalma eğilimi sürekli olarak değişmektedir. Göl seviyesindeki değişim incelendiğinde ise sürekli bir azalma eğilimi içerisindedir. Göl seviyesi periyodun başlangıç yıllarında ortalama 857,76 m iken son yıllarında yaklaşık 14 m daha düşük olarak ortalama 843,97 m elde edilmiştir. Genel olarak göl seviyesindeki bu azalma sıcaklıktaki ve buna bağlı olarak buharlaşmadaki artışa bağlıdır. Bunun nedeni yağışın arttığı dönemlerde bile yağış miktarı buharlaşma miktarının altında kalmasıdır. Göl seviyesi-yağış arasındaki korelasyon katsayısı -0,1066 olarak elde edilirken, göl seviyesi-buharlaşma arasında -0,6452 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler ışığında, göl seviyesi ile buharlaşma arasında orta olumsuz bir ilişki bulunduğu, göl seviyesi ile yağış arasında ise olumsuz çok zayıf bir ilişkinin bulunduğu söylenebilir. Buradan da anlaşılacağı gibi, göl seviyesindeki değişime sıcaklık artışı ile artan buharlaşma, yağıştan daha çok etki etmektedir.



Şekil 5. Burdur gölü seviyesi - yağış ve buharlaştırma arasındaki ilişki (1975-2020)
(Burdur lake level, the relationship between precipitation and evaporation (1975 - 2020))

Şekil 6'da verilen grafikte görüldüğü gibi 1975-2020 yılları arasında göl seviyesi ve göl hacmindeki azalma trendi açık bir şekilde görülmektedir. Periyodun başlangıç yıllarında göl seviyesi ortalama 857,76 m iken son yıllarında göl seviyesi ortalama 843,09 m'ye düşmüştür. Göl seviyesindeki maksimum değer 858,57 m ile 1975 yılında, minimum değer ise 843,16 m ile 2020 yılında olması azalma trendini daha açık şekilde gözler önüne sermektedir. Göl seviyesindeki azalış periyodun başlangıç yılından sonlarına doğru ortalama %1,71 olarak elde edilmektedir. Periyodun başlangıç yıllarında göl hacmi ortalama 6896,33 hm³ iken son yıllarında göl hacmi 4354,19 hm³'e düşmüştür. Göl hacmindeki azalış periyodun başlangıç yılından sonlarına doğru ortalama %36,86 çıkmaktadır. 45 yıllık dönem boyunca bazı yıllarda göl seviyesi ve hacmi önceki yıllara göre artış gösterse bile genel olarak göl seviyesi ve hacmindeki azalmanın önüne geçilemediği açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6. Burdur Gölü göl hacmi ve seviyesindeki değişim (1975-2020)
(change in lake volume and level of Burdur Lake (1975 - 2020))

4.1. 2021-2050 Yılları Arasında Burdur Gölü Su Bilançosu Tahminleri (Burdur Lake Water Balance Sheet Forecasts Between 2021-2050)

İklim projeksiyonları verilerinde buharlaşmaya dair veri olmadığı için 2021 - 2050 yılları arasındaki buharlaşmadaki artış %15 olarak kabul edilmiştir. 30 yıllık süreçteki %15'lik artış her yıl düzenli olarak 0.005 mm artacak şekilde 30 yıllık periyotta homojen şekilde dağıtmıştır. %15'lik artış kabulünün yapılmasının nedeni buharlaşma ile göl hacmi arasında orta derecede korelasyon ilişkisinin çıkması ve göl hacmindeki azalışın 2020

yılı ili 2050 yılları arasında yaklaşık olarak ortalama %18,12 düşeceğinin tahmin edilmesidir (Ataol,2010). Yağış projeksiyonunda ise ortalama olarak % 4,50 azalma olduğu hesaplanmıştır. 30 yıllık süreçteki toplam % 4,50'lik azalış her yıl düzenli olarak % 0,15 azalacak şekilde göldeki su kayıplarına dahil edilmiştir. Tablo 2'de yer alan kot-alan-hacim değerlerinden yararlanılarak, korelasyon ve enterpolasyon yöntemleri ile 2021-2050 yılları arasındaki Burdur Gölü su seviyesi değerleri elde edilmiştir. Elde edilen göl seviye değerlerine iklim etkisi de (yağış ve buharlaşma) eklenerek tahmini göl seviyesi değerleri hesaplanmıştır. Buharlaşma, yağış ve göl su seviyesinin 2021-2050 yılları arasındaki tahmin edilen değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. 2021-2050 yılları arası tahmini yağış, buharlaşma ve göl seviyesi değerleri
(estimated precipitation, evaporation and lake level values for 2021 – 2050)

Yıllar	Tahmini Yağış (mm)	Tahmini Buharlaşma (mm)	Tahmini Göl Seviyesi (m)
2021	372,78	1409,96	843,86
2022	372,22	1417,01	843,66
2023	371,66	1424,09	843,34
2024	371,10	1431,21	842,94
2025	370,55	1438,37	842,23
2026	369,99	1445,56	841,52
2027	369,44	1452,79	840,94
2028	368,88	1460,05	840,46
2029	368,33	1467,35	839,95
2030	367,78	1474,69	839,57
2031	367,22	1482,06	839,22
2032	366,67	1489,47	838,84
2033	366,12	1496,92	838,43
2034	365,57	1504,41	838,59
2035	365,03	1511,93	838,36
2036	364,48	1519,49	837,97
2037	363,93	1527,09	837,43
2038	363,39	1534,72	837,54
2039	362,84	1542,39	838,03
2040	362,30	1550,11	838,51
2041	361,75	1557,86	838,41
2042	361,21	1565,65	838,09
2043	360,67	1573,47	837,96
2044	360,13	1581,34	837,65
2045	359,59	1589,25	837,33
2046	359,05	1597,19	837,42
2047	358,51	1605,18	837,48
2048	357,97	1613,21	837,67
2049	357,44	1621,27	837,92
2050	356,90	1629,38	837,81

Tablo 5'de 2021-2050 yılları arasında göl seviyesi ve göl hacmindeki azalma trendi açık bir şekilde görülmektedir. 30 yıllık dönemde bazı yıllarda göl seviyesi ve hacmi önceki yıllara göre artış gösterse bile genel olarak göl seviyesi ve hacmindeki azalmanın önüne geçilemeyeceği anlaşılmaktadır. Göl seviyesindeki 2021-2050 yılları arasındaki tahmini veriler incelendiğinde maksimum değer 843,86 m ile 2021 yılında, minimum değer ise 837,33 m ile 2045 yılındadır. 2021 - 2050 yılları arasındaki göl seviyesindeki tahmini azalış ortalama %0.72 olarak hesaplanmaktadır. Göl hacmindeki veriler incelendiğinde ise maksimum değer 4414,31 hm³ ile 2021 yılında, minimum değer ise 3514,29 hm³ ile 2047 yılındadır. 2021-2050 yılları arasındaki göl hacmindeki tahmini azalış ortalama %17.75 bulunmaktadır. Net mevcut su tüketimlerinin bu şekilde devam etmesi halinde göl seviyesindeki kayıpların ilerleyen yıllarda küresel ısınma ile beraber hiçbir şekilde önüne geçilemeyeceği görülmektedir.

5. Sonuçlar ve Öneriler (Results and Recommendations)

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden elde edilen veriler doğrultusunda Burdur Gölü parametreleri ile iklim parametreleri arasındaki etkileşimi gösterebilmek için istatistiksel analiz yöntemi olan korelasyon analizi 1975-2020 yılları arası için uygulanmıştır. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ve Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan elde edilen veriler doğrultusunda iklim projeksiyonları ile göl parametreleri arasında ilişki kurularak 2021-2050 yılları arasındaki Burdur Gölü su bilançosu çıkarılmıştır.

1975-2020 yılları arasındaki göl seviyesi verilerine göre, periyodun başlangıç yıllarında göl seviyesi ortalama 857,76 m, son yıllarında göl seviyesi ortalama 843,09 m'ye düşmüştür. Göl seviyesindeki maksimum değer 1975 yılında 858,57 m, minimum değer ise 2020 yılında 843,16 m ile görülmüştür.

Yapılan korelasyon analizleri sonucunda göl seviyesi ile buharlaşma arasında (-0,6452) negatif yönlü orta derecede anlamlı ilişki, göl seviyesi ile yağış arasında (-0,1066) negatif yönlü çok zayıf derecede anlamlı ilişki tespit edilmiştir.

İklim parametreleri ile göl parametreleri arasındaki ilişki kurularak yapılan Burdur Gölü su bilançosuna göre 1975-2020 yılları arasındaki göl seviyesi ve hacmindeki azalma trendi 2021-2050 yılları arasında da devam etmektedir. 2021-2050 yılları arasındaki tahmini veriler incelendiğinde uzun yıllık dönemde bazı yıllarda göl seviyesi ve hacminde önceki yıllara göre artış olsa bile genel olarak göl seviyesi ve hacmindeki azalmanın gerekli tedbirler alınmadığı sürece önüne geçilemeyeceği anlaşılmaktadır. Çünkü 2021-2050 yılları arasında hesaplanmış olan su bilançosuna göre maksimum göl seviyesi 843,86 m ile 2021 yılında, minimum göl seviyesi ise 837,33 m ile 2045 yılında tespit edilmiştir. 2021-2050 yılları arasındaki tahmini hesaplamalara göre göl seviyesinde göl tabanına göre %0,72, göl hacminde ise %17,75 azalış beklenmektedir.

Ülkemizin önemli ve büyük göllerinin biri olan Burdur Gölü'ndeki bu su kaybının önüne geçmek için, iklim değişikliği ile artış gösteren buharlaşmanın azaltılması konusunda önlemler alınmalı, sulama ve içme suyu sistemlerindeki kayıp-kaçak oranları düşürülmeli, çevrede açılan kontrolsüz kuyuları kontrol altına alınmalı ve iklim parametreleri de hesaba katılarak Burdur Gölü için yeni bir eylem planı yapılmalıdır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Kanber, R., Baştuğ, R., Büyüktaş, D., Ünlü, M., Kapur, B., 2010. Küresel İklim Değişikliğinin Su Kaynakları ve Tarımsal Sulamaya Etkileri, TMMOB ZMO, Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1, Ankara, 83-118.
- Küçükyaman, D., 2010. Kovada Gölü'nün hidrolojik ve meteorolojik kuralık analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W. D., Shaw, D., 1994. The impact of global warming on agriculture: A ricardian analysis, American Economic Review, 84/4, 753-771.
- Usta, A., 2016. Türkiye'nin su potansiyelinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi. 3/2, 01-09.
- Aktaş, S., 2018. Eğirdir Gölü beslenme havzası ve gölün geleceği, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Göncü, S., Albek, E. A., Albek, M., 2017. Burdur, Eğirdir, Sapanca ve Tuz gölleri su seviyelerinin nonparametric istatistik yöntemler ile eğilim analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17/2 .555-570, Doi: 10.5578/fmbd.57389
- Bahadır, M., 2012. Kovada Gölü'nde seviye değişimlerinin istatistiksel analizi, Turkish Studies, 7/3, 441-452, Doi: 10.7827/TurkishStudies.3757
- Erginyürek, Y., 2018. Van Gölü kapalı havzasında yağış-akım analizleri ve göl seviye değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
- Zhang, G., Xie, H., Zhu, M., 2010. Water level changes of two Tibetan lakes Nam Co and Selin Co from ICESat altimetry data, 2010 Second IITA International Conference on Geoscience and Remote Sensing, 463-466, doi:10.1109/IITA-GRS.2020.5602644
- Fathian, F., Dehghan, Z., Eslamian, S., 2014. Analysis of water level changes in Lake Urmia based on data characteristics and non-parametric test, International Journal of Hydrology Science and Technology, 4/1, 18-38, Doi:10.1504/IJHST.2014.064398
- MAKÜ, 2012. Burdur Gölü'nün sorunları, çözümleri, yönetimi ve ekonomik potansiyeli Doğrudan faaliyet desteği proje sonuç raporu, Burdur. [İnternet]. Erişim: <https://www.baka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/1557486317BurdurGoluSorunlaricozumleriYonetimiveEkonomikPotansiyeli.pdf>, Son Erişim Tarihi: 05.08.2021.

- TÜBİTAK, 2009. Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması-Burdur Havzası, Türkiye Bilimsel ve Teknoloji Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre Enstitüsü, Kocaeli. [İnternet]. Erişim:https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/havza%20koruma%20eylem%20planlar%C4%B1/Burdur_Havzas%C4%B1.pdf , Son Erişim Tarihi: 05.08.2021.
- [İnternet]. Erişim: <https://earthengine.google.com/>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2021.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019. Burdur Havzası Nehir Havzası Yönetim Planı, Stratejik Çevresel Değerlendirme Kapsam Belirleme Raporu (Taslak), Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- DSİ, 2017. Burdur havzası master plan çalışması; Hidromark, DSİ Raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara. [İnternet]. Erişim: iklim.tarimorman.gov.tr/NewCBS/, Son Erişim Tarihi: 21.02.2021.
- Terzi, Y., 2018. Temel İstatistik II Ders Notları. [İnternet]. Erişim:<https://ist-fef.omu.edu.tr/tr/hakkimizda/ders-notlari/TEMEL%20%C4%B0ST%20II-2018.pdf>, Son Erişim Tarihi: 05.08.2021.
- Vatansever, F., Doğalı, G., 2011. Klasik enterpolasyon yöntemleri ve yapay sinir ağı yaklaşımlarının karşılaştırılması, 6thInternational Advanced Technologies Symposium, Elazığ, 51-54.
- Ballı, C., 2019. İklim Değişikliğinin Kar Erimelerine ve Akımlarına Etkisinin Belirlenmesi Projesi, 2. Eğitim Çalışması, [İnternet]. Erişim:https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20SON/%C4%B0klim%20Projeksiyonlar%C4%B1-Veri%20Analizi_CBalli.pdf
- Vaheddoost, B., 2017. Urmiye Gölü su seviyesi için regresif stokastik modeller”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Davraz, A., Sener, E., Şener, Ş., Varol, S., 2014. Water Balance of the Eğirdir Lake and the Influence of Budget Components, Isparta, Turkey. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. Doi:18. 10.19113/sdufbed.75568.
- Köle, M., 2014. Ankara Örneklemini Üzerinde Cumhuriyet Dönemi Su Kaynakları Yönetim Modelleri, Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi, 18(1), 69.
- Sabuncu, A., 2020. Burdur Gölü Kıyı Şeridindeki Değişiminin Uzaktan Algılama ile Haritalanması. Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering. 20. Doi:10.35414/akufemubid.711653.
- Cattiaux, J., Douville, H., Peings, Y., 2013. European temperatures in CMIP5: origins of present-day biases and future uncertainties. Climate Dynamics Vol. 41, 2889-2907.
- Ataol, M., 2010. Burdur Gölü'nde seviye değişimleri. Coğrafi Bilimler Dergisi, 7, 51-64.



UÇUCU KÜL, SİLİS DUMANI VE TÜF İLE STABİLİZE EDİLMİŞ BENTONİTTE MEYDANA GELEN MOLEKÜLER DEĞİŞİMLERİN FOURIER DÖNÜŞÜMLÜ KIZILÖTESİ SPEKTROSKOPİSİ (FT-IR) YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU*, Zülfü GÜROCAK

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Kil,
Stabilizasyon,
FT-IR.

Öz

Kolay uygulanabilir ve ekonomik bir yöntem olması nedeniyle günümüzde çok fazla tercih edilen stabilizasyon, killi zemine eklenen katkı malzemesi ve zemin arasında oluşan puzolanik reaksiyonların bir sonucu olarak meydana gelmektedir. Oluşan puzolanik reaksiyonlar ise zeminde moleküler değişimlere neden olmaktadır. Bu değişimleri belirlemenin en yaygın yolu ise Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) yöntemidir. Bu çalışmada, katkı malzemesi olarak uçucu kül ve silis dumanı ile asidik ve bazik tüfler kullanılarak hazırlanan ve 28 günlük kür uygulanan örneklerde FT-IR çalışmaları yapılmış ve stabilizasyon sonrası meydana gelen moleküler değişimler incelenmiştir. Analizler sonucunda bazik tüfün kullanıldığı örnekte, (Ca, Mg) CO₃ gerilimiyle ilişkili olan 1431 cm⁻¹'de yeni bir pik oluşmuştur. Uçucu külün kullanıldığı örnekte CaO oranı etkisiyle gelişen puzolanik reaksiyonlar sonucunda oluşan C-S-H ve C-A-S-H bileşikleri ile ilişkili 1416 cm⁻¹ dalga sayısında oluşan yeni bir pik belirlenmiştir. Silis dumanı ve bazik tüfün birlikte kullanıldığı örnekte 1363 cm⁻¹ ve 1431 cm⁻¹ dalga sayılarında yeni pikler oluşmuştur ve bu pikler (Ca, Mg) CO₃ gerilimiyle ilişkilidir. Asidik tüf ve uçucu külün kullanıldığı örnekte ise C-S-H ve C-A-S-H bileşikleri formunda kalsit oluşumu ile ilişkili 1363 cm⁻¹ ve 1416 cm⁻¹ dalga sayılarında iki yeni pik meydana gelmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre puzolanik reaksiyonların en iyi geliştiği örnekler %10 bazik tüf ve %10 silis dumanı ile %10 asidik tüf ve %10 uçucu kül katkılı örneklerdir.

DETERMINATION OF MOLECULAR CHANGES OCCURRING IN BENTONITE STABILIZED WITH FLY ASH, SILICA FUME AND TUFF BY FOURIER TRANSFORM INFRARED SPECTROSCOPY (FT-IR) METHOD

Keywords

Clay,
Stabilization,
FT-IR.

Abstract

Stabilization, which is very preferred today because it is an easily applicable and economical method, occurs because of the pozzolanic reactions occurring between the additive materials added to the clayey soil and the soil. The pozzolanic reactions cause molecular changes in the soil. The most common way to detect these changes is the Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) method. In this study, FT-IR studies were carried out on the samples prepared using fly ash and silica fume, acidic and basic tuffs as additives and cured for 28 days, and molecular changes after stabilization were investigated. From the analysis, a new peak was formed at 1431 cm⁻¹, which is related to the (Ca, Mg) CO₃ stretch in the sample using basic tuff. In the sample using fly ash, a new peak was determined at 1416 cm⁻¹ wave number associated with C-S-H and C-A-S-H compounds formed because of pozzolanic reactions with the effect of CaO ratio. In the example in which silica fume and basic tuff was used together, new peaks were formed at 1363 cm⁻¹ and 1431 cm⁻¹ wave numbers, and these peaks were associated with the (Ca, Mg) CO₃ stretching. In the example in which acidic tuff and fly ash was used, two new peaks with wave numbers of 1363 cm⁻¹ and 1416 cm⁻¹ were formed, associated with calcite formation in the form of C-S-H and C-A-S-H compounds. According to the results of study, the

* İlgili yazar / Corresponding author: yaslan@firat.edu.tr, +90-424-237-5959

examples in which pozzolanic reactions developed best are the 10% basic tuff + 10% silica fume added sample, and 10% acidic tuff + 10% fly ash added sample.

Alıntı / Cite

Aslan Topçuoğlu, Y., Gürocak, Z., (2023). Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Tüf ile Stabilize Edilmiş Bentonitte Meydana Gelen Moleküler Değişimlerin Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) Yöntemi ile Belirlenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 94-112.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Y. Aslan Topçuoğlu, 0000-0002-3135-5926

Z. Gürocak, 0000-0002-1049-8346

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 25.08.2022

Revizyon Tarihi / Revision Date 24.09.2022

Kabul Tarihi / Accepted Date 21.10.2022

Yayın Tarihi / Published Date 27.03.2023

DETERMINATION OF MOLECULAR CHANGES OCCURING IN BENTONITE STABILIZED WITH FLY ASH, SILICA FUME AND TUFF BY FOURIER TRANSFORM INFRARED SPECTROSCOPY (FT-IR) METHOD

Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU[†], Zülfü GÜROCAK

Firat University, Faculty of Engineering, Geological Engineering Department, Elazığ, Turkey

Highlights

- With the stabilization of clayey soils, pozzolanic reactions and molecular changes occur in the soil.
- Infrared spectroscopy is the most widely used method in the investigation of molecular changes occurring in the soil.
- With the infrared spectrum method, the peaks of different wave numbers are determined and the molecular changes occurring in the soil can be explained.
- The additives used in the study created peaks related to (Ca, Mg) CO₃ stretch in clay.

Purpose and Scope

In this study, it was aimed to determine the molecular changes caused by fly ash (FA), silica fume (SF), acidic tuff (AT) and basic tuff (BT) additives in the microstructure of pure bentonite clay (K) with FT-IR Spectroscopy analysis. For this purpose, economical and environmentally friendly additives that provide pozzolanic reaction are used. Fly ash, which is found as a large amount of waste product in thermal power plants and must be stored in order to eliminate its negative effects on the environment, silica fume, since it is very fine and has high pozzolanic activity in general due to its high silica content, acidic and basic tuffs were chosen as additive materials in this study. Because tuffs are natural, economical, environmentally friendly and abundant in nature.

Design/methodology/approach

In this study in which bentonite clay and fly ash, silica fume, acidic and basic tuffs as additives were used, the additive samples, which were prepared by adding additives at different rates to bentonite, were compressed at optimum water content, cured, and FT-IR Spectroscopy analyzes were performed on these samples. Wave Number - Transmittance (T) graphs obtained from FT-IR analyzes were evaluated by considering the results of the studies in the literature on this subject, and the molecular changes that occurred as a result of different additive types and ratios were tried to be explained.

Findings

According to the FT-IR analysis results, the use of only acidic tuff as an additive did not cause a change in the FT-IR spectrum due to the absence of CaO in the composition of the acidic tuff to initiate a pozzolanic reaction. In the sample using basic tuff, a new peak was formed at 1431 cm⁻¹, which is related to the (Ca, Mg) CO₃ stretch. In the example where fly ash was used, a new peak was determined at 1416 cm⁻¹ wave number associated with C-S-H and C-A-S-H compounds formed as a result of pozzolanic reactions with the effect of CaO ratio. In the case of using silica fume as additive material, no significant change was observed in the FT-IR spectrum because the silica fume pozzolanic components could not form C-S-H due to the absence of lime (or very little) in the environment. In the example where silica fume and basic tuff were used together, new peaks were formed at 1363 cm⁻¹ and 1431 cm⁻¹ wave numbers and these peaks were related to the (Ca, Mg) CO₃ stretch. In the example where acidic tuff and fly ash were used, two new peaks with wave numbers of 1363 cm⁻¹ and 1416 cm⁻¹ related to the formation of calcite in the form of C-S-H and C-A-S-H compounds occurred. The data obtained as a result

[†] Corresponding author: yaslan@firat.edu.tr, +90-424-237-5959

of this study show that the pozzolanic reactions are best developed in the 10% basic tuff + 10% silica fume added sample (7) and 10% acidic tuff + 10% fly ash added (8) samples.

Originality

The results obtained from this study are important in terms of better understanding the molecular changes that occur in the clay after the stabilization of the clays and will contribute to the studies on this subject.

1. Giriş (Introduction)

Zeminler, mühendislik çalışmalarının ayrılmaz bir parçasıdır ve birçok mühendislik çalışması sırasında gerek temel inşaatı, gerekse dolgu malzemesi olarak kullanılan zeminlerin mühendislik özelliklerinin bilinmesi, projenin güvenliği ve maliyeti açısından büyük önem taşımaktadır. Zeminlerin istenen mühendislik özelliklerine uygun olmadığı durumlarda ise farklı iyileştirme yöntemleri kullanılarak zeminler mühendislik uygulamalarına uygun hale getirilmektedir. Bu iyileştirme yöntemlerinden en kolay uygulanabilen ve ekonomik olanı ve bu nedenle de en yaygın olarak tercih edileni ise zemine katkı maddeleri eklenerek yapılan stabilizasyondur. AttohOkine (1995) stabilizasyonu; mühendislik ihtiyaçlarını karşılamak için killi zeminlerin geoteknik özelliklerinin değiştirilmesi işlemi olarak tanımlamaktadır. Bu yöntemde killi zemine eklenen çimento, uçucu kül, kireç, silis dumanı, tüf, şeyl, volkanik cam, diatomit veya volkanik kül gibi katkı maddeleri zemine ait elementlerle kimyasal reaksiyona girmekte ve meydana gelen puzolanik reaksiyon sonucunda zeminin geoteknik özellikleri iyileşmektedir (Aksoy vd., 2008; Al-Rawas vd., 2005; Asgari vd., 2015; Azadegan vd., 2012; Boardman vd., 2001; Cuisinier vd., 2011; Goodarzi vd., 2015; Harichane vd., 2011; Hossain ve Mol, 2011; Lin vd., 2013; Mahamedi ve Khemissa, 2013; Mallela vd., 2004; Ramadas vd., 2011; Voottipruex ve Jamsawang, 2014; Wang vd., 2013). Stabilizasyon ile meydana gelen puzolanik reaksiyon, zemin ile katkı maddeleri arasında gelişmekte ve zeminin mikro yapısında değişimlere neden olmaktadır. Zeminin mikro yapısında meydana gelen bu değişimlerin izlenmesinde infrared (titreşim) spektroskopisi (IR) yöntemi kullanılmaktadır ve bu yöntem ile zeminin moleküler bağ karakterizasyonu belirlenebilmektedir. Maddenin infrared ışınlarını absorblaması üzerine kurulmuş olan fiziksel bir yöntem olan IR, hızlı, ekonomik ve yıkıcı olmadığı için katı yüzeyindeki gaz ve sıvı adsorbsiyonunun incelenmesinde oldukça fazla kullanılmaktadır (Karakaya, 2006; Gündüz, 1990). Moleküllerdeki kimyasal bağların tüm hareketleri (titreşim, eğilme, bükülme, sallanma) için gerekli olan enerji, infrared ışınların elektro manyetik enerjisinden absorblanmakta ve ölçülen absorblanslar pikler ile ifade edilmektedir. Infrared spektrumlar çoğunlukla dalga sayısı ile belirtilmekte ve elde edilen pikler yapılarına göre zayıf, orta, kuvvetli; şekillerine göre ise dar, orta ve geniş pikler olarak ayrılmaktadır. Infrared spektrumu çimento, katkılı çimento ve puzolanlarla ilgili yapılan çalışmalarda başlıca 4 geniş band bölgesinde değerlendirilmektedir. Bunlar Si-Al, S, C ve OH titreşim ve deformasyon bağlarındaki titreşim sayılarından oluşmaktadır ve titreşim sayıları aralarındaki farklar bölgesel olarak değerlendirilebilmektedir (Puertas vd., 2004). FT-IR yönteminde minerallerdeki moleküler bağ karakterizasyon özellikleri aşağıda kısaca açıklanan dört bölgede oluşan dalga sayıları yardımıyla belirlenebilmektedir.

1. Bölge: Puertas vd. (2004), FT-IR analizlerindeki birinci bölgenin 400-1100 cm^{-1} bölgesi olduğunu ve titreşim dalgalarının ise Si (Si-O ve Si-O-Si) ve Al (Al-O, Al-O-Al) bağlarına karşılık geldiğini belirtmektedirler. Araştırmacılara göre çimentonun bileşenlerinden kalsiyum silikatlar 930 ve 1000-1010 cm^{-1} dalga sayılarında, kalsiyum ve karbon titreşimleri ise 2920-2930 ve 2850-2855 cm^{-1} dalga sayıları aralığında, referans çimentoların titreşim bandları ise 1000-1010 cm^{-1} dalga sayısında daha yoğundur.

2. Bölge: Bu bölge S (kükürt) bölgesidir ve Gomes ve Ferreira (2005)'e göre bu bölgedeki pikler 1100-1300, 1620-1685 ve 3100-3600 cm^{-1} olmak üzere üç aralıkta oluşmaktadır. Araştırmacılar, bu bölgede S-O bağının görüldüğünü ve bu bağların ise çimento içeriğindeki alçı taşından kaynaklandığını ifade etmektedirler.

3. Bölge: Karakaya (2006) ve Varast vd. (2005) bu bölgede 700-1500 cm^{-1} titreşim dalgaları gösteren, çimentonun karbonasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkan C (C-O) titreşim bağlarının bulunduğunu belirtmektedirler.

4. Bölge: Su moleküllerini gösteren bölgedir ve bu bölgede 3400-3450 ile 1620-1650 cm^{-1} dalga sayılarında titreşim ve deformasyon bağları (O-H) bulunmaktadır. Katkısız çimento harç örneklerinde daha düşük dalga sayılarında (3409-3414 cm^{-1}) görülmekte ve susuz bileşiklerin varlığını göstermektedir. Portland çimentosu harçlarında ise daha yüksek dalga sayılarında (3441-3446 cm^{-1}) oluşmakta ve daha az oranda susuz bileşikler göstermektedir. Hidrate edilmiş çimentolarda portlandit 3650 cm^{-1} , tobermorite ise 3630 cm^{-1} dalga sayılarında görülmektedir (Varast vd., 2005; Puertas ve Fernandez-Jimenez, 2003).

Özellikle son yıllarda birçok araştırmacı killi zeminlerin stabilizasyonu sonrasında meydana gelen moleküler değişiklikleri incelemek amacıyla FT-IR analizlerini kullanmıştır. Amiralian (2013) kireç ve uçucu kül kullanarak

yaptığı stabilizasyon çalışmasında FT-IR analizleri yapmış ve 3689, 3619, 1113, 1024, 911 ve 788 cm^{-1} dalga sayısında pikler belirlemiştir. Araştırmacı bu piklerin O-H titreşimi, C-S-H'nin Si-O gerilme titreşimi ve Al-OH titreşimiyle ilişkili olduğunu ifade etmiştir. Çalışmada, Ca-O-H grubu titreşimi 3642 cm^{-1} , kalsit 1461 cm^{-1} ve Si-O bağı ise 1004 cm^{-1} dalga sayısında belirlenen pikler ile ilişkilendirilmiştir. Kireç veya uçucu kül katkıları ile oluşturulan kompozitin atomları arasındaki etkileşimin, saf kompozitin yapısında büyük bir değişiklik meydana getirmeyeceği ve kireç/uçucu kül katkılı karışımın kimyasal bağlarının pozisyonunda, katkısız bileşik ile karşılaştırıldığında, küçük bir gelişme elde edildiği çalışmacı tarafından belirlenmiştir.

Bandipally (2017) Na-Bentonit kilini kullandığı çalışmada, kilin FT-IR spektrumunda 3694 cm^{-1} , 3620 cm^{-1} , 3420 cm^{-1} , 1636 cm^{-1} , 900-1100 cm^{-1} arasında, 795 cm^{-1} , 688 cm^{-1} dalga sayılarında pikler belirlemiştir. Çalışmada IR spektrumunda meydana gelen değişikliklerin, kireç katkısı ile oluşan puzolanik reaksiyon ve çimentolu ürünlerin hidrasyonu için moleküler ve absorbe edilmiş su tüketimi ile oluştuğu ifade edilmektedir. Araştırmacı, 1418 cm^{-1} dalga sayısındaki pikin katkısız kilinin FT-IR spektrumunda bulunmadığını ve bu pikin kireçteki Ca-O bağlarının özelliği olan yeni bir pik olduğunu belirtmiştir. Çalışmada, bu pikin kireç katkısıyla oluştuğu ve artan kireç içeriği ile geçirgenlik değerinin azaldığı ifade edilmektedir.

Bilgiç ve Bilgiç (2019) çalışmalarında bentonitin FT-IR spektrumunda montmorillonit bakımından zengin smektit kilinin göstergesi olan Al(Mg)-O-H gerilmesinin 3620 cm^{-1} 'deki geniş pik ile ilişkili olduğunu belirlemiştir. Çalışmada su molekülü katyonlarında bulunan H-O-H gerilmesi (H_2O için) H-OH bağlarından kaynaklanan pikin 3410 cm^{-1} dalga sayısında, H-O-H bükülmesinin gerilme titreşiminden kaynaklanan pikin ise 1635 cm^{-1} dalga sayısında oluştuğu ifade edilmiştir. Araştırmacılar Tabak vd. (2007)'nin yapmış olduğu çalışmadaki verileri dikkate alarak 840, 980, 1030 ve 1277 cm^{-1} 'deki piklerin Si-O titreşimleriyle, 470 cm^{-1} 'deki pikin, Si-O-Si titreşimleriyle, 525 cm^{-1} 'deki pikin ise Si-O-Al titreşimleriyle ilgili olduğunu ifade etmektedirler.

Chen vd. (2022) tarafından yapılan ve katkı malzemesi olarak uçucu kül-cüruf bazlı jeopolimeri kullandıkları çalışmada, 991-1042 cm^{-1} 'de ve 460 cm^{-1} 'de pikler belirlenmiş ve bu bulguların Kristaly vd. (2021)'nin yaptığı çalışmaya göre sırasıyla Si-O-T bağı (T = Si veya Al) ve Si bakımından zengin bir jel oluşumuyla ilişkili olduğu ifade edilmiştir. Araştırmacılar 700-800 cm^{-1} 'de belirledikleri titreşim pikinin ise Murmu vd. (2019)'un çalışmasında, spesifik mineral fazıyla (kuvars, ortoklaz ve albit dahil), 1460 cm^{-1} 'deki pikin CaCO_3 'ün O-C-O gerilme titreşimi ile, 1645 cm^{-1} ve 3450 cm^{-1} titreşimlerin ise sırasıyla H-O-H ve O-H'nin gerilme ve eğilme titreşimleriyle ilişkili olduğunu belirtmektedirler. Çalışmada jeopolimer zemin stabilizatörünün portland çimento endüstrisinin neden olduğu çevresel sorunları azaltacağına dikkat çekilmiştir.

Cheng vd. (2018) tarafından yapılan ve FT-IR analiz yönteminin kullanıldığı çalışmada, incelenen zeminin tipik absorpsiyon bandı 1100 cm^{-1} ile 950 cm^{-1} aralığında gözlenmiş ve stabilizatörler ile zemin arasındaki puzolanik reaksiyonun bir sonucu olarak kil mineralinde Si-O-M⁺'nin (M⁺ = Na⁺, K⁺ veya Ca²⁺) azaldığı belirlenmiştir. Çalışmacılar 1420 cm^{-1} 'de belirledikleri absorpsiyon pikini Hajimohammadi vd. (2011)'nin yaptığı çalışmaya göre değerlendirmişler ve bu pikin kireçteki Ca-O'nun gerilme titreşiminden kaynaklandığı ifade etmişlerdir. Araştırmada belirlenen bu pik, kür süresinin artmasıyla önemli ölçüde azalmış ve 28 günlük kürlemeden sonra kaybolmuştur. Bu durum, araştırmacılar tarafından zeminin karışık stabilizatörlerle reaksiyona girdiği, yeni minerallerin üretildiği ve bu süreçte meydana gelen kireç tüketiminden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. Araştırmada kireç ve uçucu kül karışımlarının kullanılmasının, kürlenme süresiyle birlikte kil minerallerinde kademeli bir azalmaya neden olduğunu, ayrıca C-A-H ve bazı amorf mineraller gibi çeşitli yeni minerallerin ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Dorum vd. (2010) yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve trasin portland çimentosunun fiziksel ve mekaniksel özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. Portland çimentosunun FT-IR analizi sonucunda Si-O ile birlikte bulunan Al-O bağlarının 447 ve 516 cm^{-1} dalga sayılarında titreşim pikleri verdiğini belirleyen araştırmacılar, kükürt-oksijen bağlarının (S-O) 656, 1143 ve 1612 cm^{-1} dalga sayılarında, CO_3^{2-} bağlarının ise 1418 cm^{-1} dalga sayısında görüldüğünü ifade etmişlerdir. Ayrıca yapısındaki su iyonları ve moleküllerine ait titreşim piklerinin 3399 ve 3615 cm^{-1} dalga sayılarında bulunduğunu belirlemişler ve bu bulguları Gomes ve Ferreira (2005), Gomes vd. (2005), Govin vd. (2006)'nın yaptığı çalışmalara göre değerlendirmişlerdir.

Eisazadeh vd. (2012) kireç ile stabilize ettikleri montmorillonitik ve lateritik killerde Katı Hal Nükleer Manyetik Rezonans (SS-NMR) ve FT-IR Spektroskopisi çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmada FT-IR spektrumunda 3632 cm^{-1} ve 3446 cm^{-1} 'de iki absorpsiyon piki belirlenmiştir. Çalışmada belirlenen bu pikler Madejova ve Komadel (2001) tarafından yapılan çalışmaya ait sonuçlara göre yorumlanarak, bu piklerin montmorilloniti karakterize eden yapısal hidroksil grupları ve OH gerilme titreşimleriyle ilgili olduğu belirtilmiştir. Çalışmada 1640 cm^{-1} 'deki pikin, suyun OH grubunun gerilme titreşimleriyle ilgili olduğu, 913 cm^{-1} ve 885 cm^{-1} 'deki piklerin AlAlOH ve AlFeOH'ye ait olduğu, 466 cm^{-1} 'deki pikin ise Si-O-Si deformasyon titreşimini gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, 524 cm^{-1} 'deki pikin Al-O-Si gruplarının deformasyon moduna, 620 cm^{-1} 'deki pikin ise Al-O ve Si-O düzlem dışı titreşimlerine karşılık geldiğini ifade eden araştırmacılar, belirledikleri 778 ve 791 cm^{-1} piklerini ise Marel ve

Beutelspacher (1976) tarafından yapılan çalışma sonuçlarına göre yorumlayarak, bu piklerin kuvars piklerine karşılık geldiğini ifade etmişlerdir. Çalışmada kireç katkılı karışımlarda 1420 cm^{-1} 'de gözlenen yeni pikin ise kireçteki Ca-O bağlarının özelliği olduğu ve %0 kireç içeriği için pik yokken artan kireç içeriği ile ortaya çıktığı belirlenmiştir. Araştırmacılar kütleme süresi ile azalan bir yoğunluk gösteren bu absorpsiyon bandının Gunasekaran ve Anbalagan (2007) ve Nacamoto (1970) tarafından yapılan araştırma sonuçlarına göre değerlendirildiğinde kirecin Ca\OH titreşim bandıyla ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Etim vd. (2021) yaptıkları çalışmada katkılı kilin FT-IR spektrumunda 749.2 cm^{-1} , 882.1 cm^{-1} , 909.8 , 995.2 cm^{-1} , 1030 cm^{-1} , 1420.1 cm^{-1} , 1408.9 cm^{-1} , 3693 cm^{-1} , 3623 cm^{-1} , 3693 cm^{-1} dalga sayılarında pikler belirlemiştir. Çalışmada, 1420.1 cm^{-1} ve 1408.9 cm^{-1} dalga sayılarında katkısız kilde olmayan yeni piklerin ortaya çıktığını ve bu piklerin kireç ve çimento katkılı örneklerde, kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) ve kalsiyum alüminat silikat hidrat (C-A-S-H) bileşiklerindeki formunda kalsit oluşumu ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir.

Kechouane ve Nechnech (2015)'in kireç katkısının kilin şişme basıncı üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada, FT-IR spektrumuna göre montmorilloniti karakterize eden oktahedral tabakanın O-H gruplarının gerilme titreşimlerinin 3620 cm^{-1} dalga sayısında, montmorillonit içindeki adsorbe edilmiş su moleküllerinin titreşimlerinin ise 3430 cm^{-1} dalga sayısında olduğu belirlenmiştir. Çalışmacılar 1630 cm^{-1} 'deki pikin suyun OH grubunun gerilme titreşimlerine, 1468 cm^{-1} 'deki pikin CH_2 gruplarının deformasyon titreşimine, 1040 cm^{-1} 'deki pikin ise Si-O bağının gerilme titreşimlerine karşılık geldiğini belirtmektedir.

Koçak (2010) uçucu kül ve silis dumanı katkılarının çimento hamuru ve harçların üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada, portland çimentosunun FT-IR analizlerinde 418 , 462 , 523 , 601 , 661 , 926 , 1151 , 1621 , 1475 , 3404 , 3560 , 3643 cm^{-1} dalga sayısında titreşim pikleri verdiğini belirlemiştir. Çalışmada 1475 cm^{-1} dalga sayısındaki pikin CO_3^{2-} gerilmesi ile ilişkili olduğu, çimento harçlarının hidrasyonu sırasında, uçucu kül ve silis dumanı katkısı nedeniyle CH oluşumunun azaldığı, bu nedenle erken yaşlarda portland çimentosuna kıyasla daha düşük bir basınç dayanımının ortaya çıktığı belirtilmiştir. İlerleyen hidrasyon günlerinde ise puzolanik özelliğe sahip olan uçucu kül ve silis dumanının zamanla CH'yi bağlayarak yeni (puzolanik) C-S-H jel oluşturduğu ve bu jel oluşumunun dayanım değerlerini portland çimentosunun dayanım değerlerine ulaşmasını sağlayacağı belirtilmiştir.

Kupwade-Patil vd. (2018) stabilizasyonda Portland çimentosunun yerine silis dumanı ve volkanik kül kullandıkları çalışmada Nükleer Manyetik Rezonans (NMR), X Işını Kırınımı (XRD), FT-IR ve X-ışını mikrotomografisi tekniklerini kullanarak mikro ve gözenek yapısındaki değişimleri incelemişlerdir. Araştırmacılar 1072 cm^{-1} , $969-970\text{ cm}^{-1}$, 740 cm^{-1} , $450-500\text{ cm}^{-1}$ ve 473 cm^{-1} dalga sayılarında pikler ile birlikte volkanik küldeki yüksek alümina içeriğinden dolayı ($\text{Al}_2\text{O}_3 = \%13$) C-A-S-H jelinin oluştuğunu belirlemişlerdir. Jel oluşumunun volkanik külde bulunan fazla alüminanın silis dumanından gelen amorf silika ile reaksiyona girmesi sonucu gerçekleştiğini ifade eden araştırmacılar, stabilizasyonda portland çimentosu yerine katkı malzemesi olarak silis dumanı ile birlikte volkanik külün kullanılmasının verimli, uygun maliyetli ve çevre dostu bir çözüm sağlayacağını belirtmişlerdir.

Miraki vd. (2022) killi zemin stabilizasyonunda volkanik kül ve cüruf kullanmışlar ve mikro yapıyı belirlemek için FT-IR analizleri yapmışlardır. Çalışmada $1643-1660\text{ cm}^{-1}$ ve $3435-3445\text{ cm}^{-1}$ dalga boylarında gözlenen absorpsiyon bantlarını Lemouagna vd. (2017b) ve Kaze vd. (2018) tarafından yapılan çalışma sonuçlarına göre değerlendiren araştırmacılar, bu dalga boylarındaki absorpsiyon bantlarının kristal su ile ilgili olduğunu ve $3435-3445\text{ cm}^{-1}$ dalga boylarındaki absorpsiyon bantlarının ise fiziksel suya karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Çalışmada belirlenen 1438 cm^{-1} ile 1452 cm^{-1} arasındaki dalga sayısında görünen absorpsiyon bantlarının ise Clayden vd. (1999) ve Criado vd. (2007)'nin yapmış oldukları çalışma sonuçları esas alındığında, genellikle jeopolimerik malzemelerin karbonatlaşması nedeniyle oluşan O-C-O'nin asimetrik gerilme bağlarını temsil ettiğini ifade etmişlerdir.

Özcan (2010) doğal bentonitin FT-IR spektrumunda Si-O yüzeyine zayıf olarak hidrojen bağı ile bağlı su moleküllerinin gerilme titreşim bandını 3435 ve 3626 cm^{-1} dalga sayısında, adsorplanan su moleküllerinin yayvan bandını ise 3435 cm^{-1} dalga sayısında belirlemiştir. Çalışmada suyun hidroksilinin deformasyon bandı 1640 cm^{-1} dalga sayısında ve Si-O-Si gruplarının Si-O gerilme titreşimleri ise 1040 cm^{-1} dalga sayısında gözlenmiştir. Araştırmacı Si-O-Al ve Si-O-Si bükülme titreşimlerinin varlığını gösteren piklerin 522 cm^{-1} ve 468 cm^{-1} dalga sayılarında oluştuğunu belirtmiştir.

Saeed vd. (2015) kaolin kilinde yaptıkları FT-IR analizlerinde 3696 cm^{-1} , 3620 cm^{-1} , 1638 cm^{-1} , 1115 cm^{-1} , 1031 cm^{-1} , 1007 cm^{-1} , 912 cm^{-1} , 794 cm^{-1} , 698 cm^{-1} , 540 cm^{-1} ve 470 cm^{-1} dalga sayılarında pikler oluştuğunu belirlemişlerdir. Çalışmada kireç katkılı örneklerinin FT-IR spektrumlarında önemli bir değişiklik oluşmadığı ve

1422 cm^{-1} 'de küçük pikin ise kalsitin varlığını gösterdiği ifade edilmiştir. Ayrıca, kireçten gelen kalsiyumdan dolayı 1425 cm^{-1} bandında absorpsiyon yoğunluğunun arttığı ifade edilmektedir.

Tabak vd. (2007)'nin Reşadiye bentonitinde yaptığı çalışmada, OH gerilmelerinin kilin FT-IR spektrumunda 3600-3400 cm^{-1} dalga sayısındaki pikler ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. 1430-1382 cm^{-1} ve 888 cm^{-1} 'deki pikler Bukka ve Miller (1999)'ın yaptığı çalışmaya göre değerlendirilmiş ve bu piklerin sırasıyla (Ca, Mg) CO_3 gerilmeleri ve OH-bağlı Fe^{3+} ve Al^{3+} 'nin bükülme moduyla ilişkili olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada 465-1052 cm^{-1} 'deki piklerin Si-O-Si gerilmesi, 524 ve 530 cm^{-1} 'deki pikin Al-Si-O eğilme moduyla ve 798 cm^{-1} 'deki pikin ise silis ve kuvarın Si-O gerilmesi ile ilişkili olduğu belirtilmiştir.

Yıldız vd. (2010) pomza ve zeolit gibi yüksek silis içerikli minerallerin yüksek dayanımlı beton (YDB) içerisinde puzolan olarak kullanımının mineralojik, moleküler, elektrokinetik (zeta potansiyel) ve simültane termal açıdan uyumunu araştırdıkları çalışmada, pomza, zeolit ve CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal, mineralojik, moleküler, elektrokinetik ve termal uyumunun, üretilen YDB türlerinde de ortaya çıktığını belirlemişlerdir. Çimentonun FT-IR analizi ile belirlenen bazı dalga sayısındaki pikleri Gomez ve Ferreira (2005)'nin yaptığı çalışmaya göre değerlendiren araştırmacılar, Si-O ile birlikte bulunan Al-O bağlarının 462 ve 521 cm^{-1} 'de, CEM I 42,5 R çimentosunda alçıyı gösteren Kükürt-Oksijen bağlarının (S-O) 662, 1151 ve 1622 cm^{-1} 'de, CO_3^{2-} 'nin ise 1426 cm^{-1} 'de görüldüğünü belirlenmişlerdir. 924 cm^{-1} dalga sayısında da bir pik belirleyen araştırmacılar, bu piki Govin vd. (2006)'nin çalışmasına göre kafes yapılarındaki Si-O bağlarının simetrik titreşimleri şeklinde yorumlamışlardır.

Daha önce yapılan ve yukarıda kısaca verilen bu çalışmaların büyük çoğunluğu çimento üretiminde ve zeminlerin stabilizasyonunda meydana gelen reaksiyonların etkisiyle mikro yapıda meydana gelen değişimleri belirlemek için FT-IR analizlerinin kullanıldığı çalışmalardır. Bu konuda farklı katkı malzemeleri kullanarak yapılacak olan çalışmalar veri tabanının gelişmesine ve FT-IR analizlerinin yorumlanmasında katkıda bulunacaktır. Bu çalışmada FT-IR Spektroskopisi analizleri ile uçucu kül (UK), silis dumanı (SD), asidik tuf (AT) ve bazik tuf (BT) katkılarının katkısız bentonit kilinin (K) mikro yapısında meydana getirdiği moleküler değişikliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla hem ekonomik ve çevreci hem de puzolanik reaksiyonun gelişmesi üzerinde olumlu etkileri olan katkı malzemeleri seçilmiştir. Özellikle termik santrallerde çok miktarda atık ürün olarak bulunan ve çevreye olan olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması amacıyla depolanması gereken uçucu külün stabilizasyonda kullanımı ve bu amaçla değerlendirilmesi oldukça önem taşıdığı için, silis dumanı ise çok ince olması ve yüksek silis içeriğinden dolayı genel olarak yüksek puzolanik aktiviteye sahip olduğu için bu çalışmada tercih edilmiştir. Ayrıca doğal, ekonomik, çevre dostu olması ile birlikte doğada bol miktarda bulunması nedeniyle asidik ve bazik özellikteki tüfler de bu çalışmada katkı malzemesi olarak seçilmiştir.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

Bentonit kili ve katkı malzemesi olarak uçucu kül, silis dumanı, asidik tuf ve bazik tufün kullanıldığı bu çalışmada, bentonite farklı oranlarda katkı malzemeleri eklenerek oluşturulan katkılı örnekler optimum su içeriğinde sıkıştırılmış, kürlenmiş ve bu örneklerde FT-IR Spektroskopisi analizleri gerçekleştirilmiştir.

2.1. Bentonit Kili ve Katkı Malzemelerinin Özellikleri (Properties of Bentonite Clay and Additives)

Bu çalışmada, problemlerli bir kil türü olması ve yapılacak olan stabilizasyon sonrasında meydana gelecek değişimlerin daha belirgin olacağı düşünüldüğü için bentonit seçilmiştir. Montmorillonit ailesine bağlı bir kil minerali olan ve Tokat-Reşadiye (Türkiye) kil ocağında üretilen bentonit kili kullanılmıştır. Bentonit kili alüminyum ve magnezyum içeriği bakımından zengin volkanik kül, lav ve tüflerin kimyasal ayrışması ya da bozulması sonucunda meydana gelen (Akbulut, 1996; Önem, 2000) ve kimyasal olarak hidratlı alüminyum ve magnezyum silikatlardan oluşmaktadır. Dane boyutu 2 μm (0.002 mm) veya daha küçüktür ve su ile etkileşime girdiğinde hacimleri önemli oranda artmaktadır. Yüksek plastisiteye sahip olan bentonitin yoğunluğu yaklaşık 2.6 g/cm^3 'dir (Genç, 2009). Bu çalışmada kullanılan bentonitte gerçekleştirilen XRF analizlerine (Tablo 1) göre kil Na-bentonittir (Aslan Topçuoğlu, 2020).

Katkı malzemesi olarak iki farklı tuf kullanılmıştır. Bunlar Gümüşhane ili ve civarında yüzeyleme veren Kızılkaya formasyonundan ve Elazığ ili Ağın bölgesinde yüzleme veren Karabakır formasyonundan derlenen tüflerdir. Bu tüflerde yapılan XRF analizlerine ait sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'e göre Kızılkaya formasyonundan derlenen tüflerin SiO_2 miktarı %63'den fazladır ve tuf asidik karakterlidir. Karabakır Formasyonu'na ait tüflerin SiO_2 miktarı ise %45'den azdır ve bazik karakterlidir. Bu çalışmada kullanılan uçucu kül Afşin-Elbistan Termik santralinden temin edilmiştir ve ASTM C 618 (2012)'e göre C sınıfı uçucu küldür. Çalışmada kullanılan diğer bir katkı malzemesi ise silisyum veya demir silisyum alaşımlarının ergime yöntemi ile üretimi sırasında elde edilen, ana bileşeni 1 μm 'den küçük, küresel, amorf, camsı silis (SiO_2) partiküllerinden oluşan, yüksek düzeyde puzolanik aktiviteye sahip bir yan ürün olan silis dumanıdır (Koca, 1996). Silisyum metalinin veya alaşımlarının elde

edilmesi için yüksek saflıktaki kuvars elektrik fırınlarında yaklaşık 2000 °C sıcaklıkta kömürle indirgeme işlemine tabi tutulurken büyük bir miktarı SiO'dan oluşan gazlar oluşmakta ve bu gazın fırının nispeten soğuk kısmında havadaki oksijenle hızlı bir şekilde soğuması sonucunda ise camsı yapıdaki SiO₂ parçacıkları oluşmaktadır. Bu parçacıklar fiber filtrelerden geçirildikten sonra yoğunlaştırılmış silis dumanı parçacıkları elde edilmektedir (Yeğinobalı, 2003). Çalışmada kullanılan silis dumanı kimyasal malzeme satan firmalardan temin edilmiştir.

Tablo 1. Bentonit ve katkı malzemelerinin kimyasal özellikleri (Aslan Topçuoğlu, 2020) (Chemical properties of bentonite and additives (Aslan Topçuoğlu, 2020))

Ana Oksit (%)	Bentonit	Silis Dumanı	Uçucu Kül	Asidik Tüf	Bazik Tüf
SiO ₂	62.50	91.70	29.20	69.10	31.40
Al ₂ O ₃	17.60	0.67	11.30	20.70	7.15
Fe ₂ O ₃	3.63	1.18	6.18	0.47	3.49
MgO	2.00	1.13	2.84	0.19	2.11
CaO	2.86	0.35	34.20	0.76	28.70
Na ₂ O	2.58	0.48	2.01	0.39	0.60
K ₂ O	0.92	1.03	0.71	1.43	0.87
TiO ₂	0.32	<0.01	0.63	0.29	0.41
MnO	0.10	0.11	0.05	<0.01	0.03
P ₂ O ₅	0.14	0.15	0.42	0.06	0.09
SO ₃	0.076	0.18	9.78	0.90	0.036
Cr ₂ O ₃	<0.01	<0.01	0.04	<0.01	0.02
Sr	0.073	0.006	0.05	0.024	0.033
Ateşte Kayıp	6.60	2.5	3.60	5.50	24.80

Bu çalışmada katkı malzemesi olarak kullanılan silis dumanı, uçucu kül ve tüfler, Aslan Topçuoğlu (2020) tarafından yapılan çalışmada da kullanılmış ve araştırmacı tarafından bu malzemelerin mineralojik özelliklerini belirlemek amacıyla XRD analizleri yapılmıştır. Araştırmacı, XRD sonuçlarına göre silis dumanının hemen hemen kristobalitten (opal) yani amorf yapıdaki SiO₂'den, uçucu külün kristal yapılu kuvars, feldspat ve kilden, asidik tüflerin feldspat, kristal yapılu kuvars, kalsit, kil ve amorf yapıdaki SiO₂'den, bazik tüflerin feldspat, dolomit, kalsit, kil ve az miktarda amorf yapıdaki SiO₂'den oluştuğunu belirtmektedir. Bu veriler XRF analizlerine ait sonuçlar ile karşılaştırıldığında, silis dumanının içerdiği yaklaşık %91 oranındaki SiO₂'nin amorf olduğunu, diğer katkı malzemelerinde belirlenen SiO₂ oranlarının ise büyük çoğunlukla kristal yapıdaki SiO₂ olduğunu söylemek mümkündür. Bu nedenle silis dumanı katkısının kullanıldığı katkılı örneklerde CaO ile daha fazla etkileşim beklenebilir.

2.2. Örneklerin Hazırlanması ve Optimum Su İçeriklerinin Belirlenmesi (Preparation of Samples and Determination of Optimum Water Content)

İlk aşamada arazi çalışması ile derlenen asidik ve bazik karakterli tüf blokları öğütülmüş ve tüm katkı malzemeleri 200 nolu elekten elenerek 24 saat 105°C'de etüvde kurutulmuştur. İkinci aşamada ise bentonit kiline farklı oranlarda silis dumanı, uçucu kül, asidik tüf ve bazik tüf katkıları eklenmiş ve hazırlanan bu örneklerin optimum su içeriklerini (w_{opt}) belirlemek için ASTM D698-12e2 (2012) standardına göre standard proktor deneyleri yapılmıştır. Standard proktor deneyi, 30.5 cm yükseklikten serbest düşmeye bırakılan 2.5 kg'lık yük altında zeminin üç tabaka halinde kalıp (mold) içerisine sıkıştırılması ile gerçekleştirilen bir deneydir ve bu deney sonrasında katkısız bentonit ile katkılı örneklerin optimum su içerikleri belirlenmiştir. Bu çalışmada katkısız bentonite kuru ağırlıkça %10 AT, %10 BT, %10 SD, %10 AT+%10SD, %10 BT+%10 SD, %10 UK, %10 AT+%10 UK, %10 BT+%10 UK oranlarında eklenerek katkılı örnekler hazırlanmıştır. Aslan Topçuoğlu (2020) tarafından yapılan ve bu çalışmada da kullanılan uçucu kül, silis dumanı, asidik ve bazik tüf katkılarının kullanıldığı çalışmada, en başarılı stabilizasyonların katkı oranının %10 olduğu örneklerde gerçekleştiği belirtilmektedir. Bu veri dikkate alınarak, bu çalışma kapsamında hazırlanan katkılı örneklerde katkı oranı %10 olarak seçilmiştir. Ayrıca, iki farklı katkının kullanılması durumunda nasıl bir etkinin ortaya çıkacağını görebilmek amacıyla ikili karışımlar hazırlanmıştır. İkili karışımlarda doğal puzolan olan tüfler ile yapay puzolanlar olan silis dumanı ve uçucu kül katkıları eşleştirilmiştir. Katkılı ve katkısız örneklerde gerçekleştirilen standard proktor deneylerine ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Standard proktor deneylerine ait sonuçlar (Results of standard proctor experiments)

Örnek	Optimum Su İçeriği (w_{opt} , %)	Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (γ_{kmax} , kN/m ³)
K	38.50	12.36
K+%10 AT	39.00	10.65
K+%10 BT	46.10	10.60
K+%10 SD	62.00	9.29
K+%10 UK	42.88	11.28
K+%10 AT + %10 SD	50.00	10.30
K+%10 BT + %10 SD	67.00	8.92
K+%10 AT + %10 UK	52.50	10.10
K %10 BT + %10 UK	50.00	10.40

K: Kil, AT: Asidik Tüf, BT Bazık Tüf, SD: Silis Dumanı, UK: Uçucu Kül

2.3. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) Çalışmaları (Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) Studies)

Organik veya inorganik bileşiklerin karakterize edilmesinde yaygın olarak kullanılan, matematiksel Fourier dönüşümü yöntemi ile ışığın infrared yoğunluğuna karşı dalga sayısını ölçen kimyasal analitik bir yöntem olan Fourier Dönüşümlü Kızılötesi spektroskopisinde (FT-IR), maddeyi oluşturan atomlar arasındaki bağların titreşimiyle oluşan frekanslara karşılık gelen absorpsiyon pikleri ile örnek karakterize edilmektedir (Lin ve Wang, 2012). Optik izomerler hariç, her madde kendine has bir spektruma sahiptir ve bu spektrumlardaki bazı bölgelere örneğin parmak izi bölgesi adı verilmektedir. Bu bölgeler sayesinde analiz edilen madde hakkında daha detaylı bilgi elde etmek mümkündür (Gündüz, 1990). Katı, sıvı ve gaz örneklerin analizinde kullanılan FT-IR spektroskopisi doğrudan ve geri dönüşlü bir yöntemdir ve bu yöntemde az miktarda örnek kullanarak kısa sürede sonuç almak mümkündür (Zhang vd., 2012). FT-IR analizinde katı örnekler için üç farklı hazırlama tekniği kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden ilkinde örnek 130 °C'de 4 saat kurutularak elde edilen potasyum bromür (KBr) ile karıştırılarak ince disk haline getirilmektedir (Zhang vd., 2012). İkinci yöntemde ise örnek KBr kullanılmaksızın ince bir film haline getirilmekte, solüsyon tekniği olarak bilinen üçüncü yöntemde ise örnek bir çözücü içerisinde çözülerek analize hazırlanmaktadır (Mak vd., 2013). Örneğin kalitatif ve kantitatif analizinin yapılmasında ince film veya disk tekniğinde film formuna getirilmiş örnekler kullanılırken, çözülmüş maddelerin kalitatif analizinde ise solüsyon tekniğinde hazırlanmış örnekler kullanılmaktadır (Anon, 2010).

Bu çalışmada stabilizasyon sonrasında katkısız ve katkılı kil örneklerde meydana gelen moleküler değişimleri belirlemek amacıyla kullanılan FT-IR spektroskopisi çalışmaları yapılmıştır. Optimum su içeriğinde sıkıştırılan ve oda sıcaklığında 28 günlük kür uygulanan örnekler katı halde iken ATR Üniteli Thermo Scientific™ Nicolet™ iS5 FT-IR Spektroskopi cihazıyla 400-4000 cm⁻¹ dalga boyunda analiz edilmiştir. Yapılan FT-IR analizleri sonucunda elde edilen Dalga Sayısı-Geçirgenlik (T) grafikleri, bu konuda literatürdeki çalışmalara ait sonuçlar dikkate alınarak değerlendirilmiş ve farklı katkı türü ve oranı sonucunda meydana gelen moleküler değişimler açıklanmaya çalışılmıştır.

3. FT-IR Spektroskopisi Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Evaluation of FT-IR Spectroscopy Results)

Bu çalışmada tercih edilen FT-IR Spektroskopisi analizine ait sonuçlar değerlendirilirken iki veri ön plana çıkmaktadır. Bunlar piklere ait dalga sayıları ve geçirgenlik değerleridir. Bu iki veri stabilizasyon sonrası meydana gelen moleküler değişimler hakkında önemli ipuçları sunmaktadır.

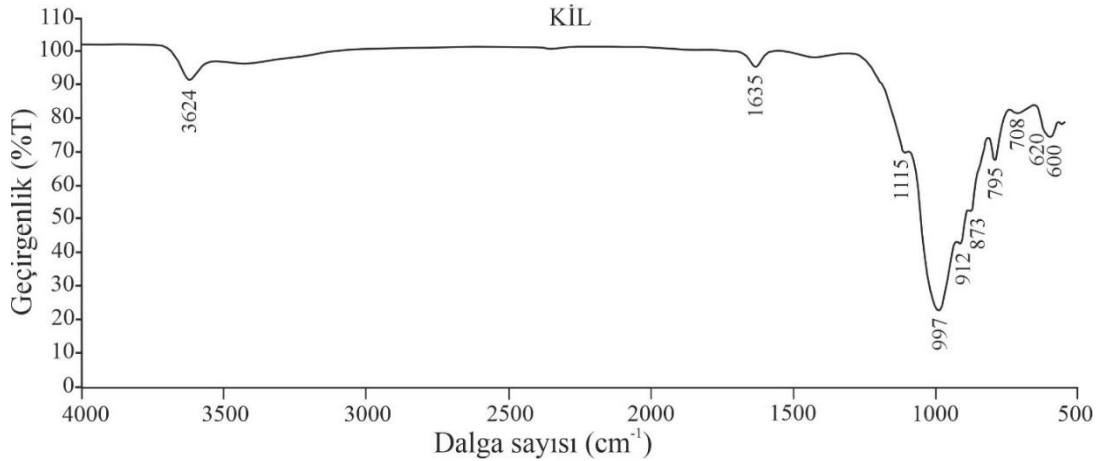
3.1. Dalga Sayılarının Değerlendirilmesi (Evaluation Of Wave Numbers)

Optimum su içeriğinde sıkıştırılan ve 28 gün kür uygulanan, katkısız ve katkılı örneklerde FT-IR spektroskopi analizleri gerçekleştirilmiş ve bu analizler sonucunda elde edilen pikler Tablo 3'te, her bir örneğe ait Dalga Sayısı – Geçirgenlik grafikleri ise Şekil 1-9'da verilmiştir.

Tablo 3. FT-IR analizleri sonucunda elde edilen piklere ait dalga sayıları (Wave numbers of the peaks obtained as a result of FT-IR analysis)

Örnek No	Karışım Türü	Dalga sayısı (cm ⁻¹)
1	K	600, 620, 708, 795, 873, 912, 997, 1115, 1635, 3624
2	K+%10 AT	600, 620, 690, 795, 873, 912, 997, 1115, 1635, 3624
3	K+%10 BT	600, 620, 712, 795, 873, 912, 997, 1115, 1431 , 1635, 3624
4	K+%10 SD	600, 620, 712, 795, 873, 912, 1000, 1107, 1635, 3624
5	K+%10 UK	600, 620, 712, 795, 873, 912, 995, 1115, 1416 , 1635, 3624
6	K+%10 AT + %10 SD	600, 620, 712, 795, 873, 912, 1000, 1115, 1635, 3624
7	K+%10 BT + %10 SD	600, 620, 712, 795, 873, 912, 1000, 1103, 1363, 1431 , 1635, 3624
8	K+%10 AT + %10 UK	600, 620, 712, 795, 873, 912, 995, 1115, 1363, 1416 , 1635, 3624
9	K %10 BT + %10 UK	600, 620, 712, 795, 873, 912, 995, 1115, 1420 , 1635, 3624

Şekil 1 katkısız kilde (K) yapılan FT-IR analizleri spektrumunda belirlenen piklere ait dalga sayısı-geçirgenlik grafiğidir. Tablo 3'te de görüleceği gibi analiz sonucunda 10 pik elde edilmiştir. Bu piklerden 3624 cm⁻¹ dalga sayısındaki pik kilin iç hidroksil gruplarının O-H gerilim titreşimi ile ilişkili olduğunu söylemek mümkündür. Nitekim Tabak vd. (2007) 3631 cm⁻¹'deki pikin, Eisazadeh vd. (2012) 3632 cm⁻¹'deki pikin, Bandipally (2017) ve Saeed vd. (2015) 3696 cm⁻¹ ve 3620 cm⁻¹ dalga sayısındaki piklerin, Kechouane ve Nechnech (2015) ise 3625 cm⁻¹'deki pikin montmorilloniti karakterize eden oktahedral tabakanın O-H gruplarının gerilme titreşimleriyle ilişkili olduğunu ifade etmektedirler. Ayrıca Etim vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada da 3623 cm⁻¹ ve 3693 cm⁻¹ dalga sayısındaki piklerin, Özcan (2010) çalışmasında ise 3626 cm⁻¹ dalga sayısındaki pikin yapısal hidroksil gruplarının O-H gerilmesiyle ilişkili olduğu belirtilmektedir.

**Şekil 1.** Katkısız kile ait FT-IR spektrumu (FT-IR spectrum of Untreated Clay)

Katkısız kilin FT-IR spektrumunda belirlenen bir diğer pik 1635 cm⁻¹ dalga sayısındadır ve bu pik suyun H-O-H titreşimleriyle ilişkili. Kechouane ve Nechnech (2015) 1630 cm⁻¹ dalga sayısındaki pikin O-H grubunun gerilme titreşimleriyle ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca başlıca O-H ve suyun H-O-H bandından kaynaklanan pikler, Eisazadeh vd. (2012) ve Tabak vd. (2007)'e göre 1640 cm⁻¹, Bandipally, (2017)'e göre ise 1636 cm⁻¹ dalga sayısında oluşmuştur. Su moleküllerinin H-O-H titreşimleriyle ilişkili olan 1638 cm⁻¹ dalga sayısındaki pik ise Saeed vd. (2015) tarafından belirlenmiştir.

Bu çalışmada, 1115 cm⁻¹ dalga sayısında belirlenen pik önceki çalışmalardan elde edilen verilere göre Si-O gerilme titreşimleriyle ilişkilidir. Si-O gerilme titreşimlerini Tabak vd. (2007) ve Saeed vd. (2015) 1115 cm⁻¹ dalga sayısında gözlemişlerdir. Ayrıca 1030 cm⁻¹ dalga sayısındaki pikin montmorillonit kil minerallerinin Si-O düzlem içi gerilme titreşimlerine karşılık geldiği Etim vd. (2021) ve Kechouane ve Nechnech (2015) tarafından belirtilmiştir.

Katkısız kilin FT-IR spektrumundaki 912 cm⁻¹ ve 997 cm⁻¹ dalga sayılarında belirlenen pikler Si-O ve Al-O gerilme titreşimleriyle ilişkilidir. Nitekim Bandipally (2017) 910 cm⁻¹ ve 995 cm⁻¹ dalga sayılarında Si-O ve Al-O bağlarının titreşim pikleri verdiğini belirlemiştir ve bu çalışmada kullanılan bentonit kilinin pikleriyle uyumlu olduğu söylenebilir.

OH bağlı Fe³⁺ ve Al³⁺'nin eğilme titreşimleriyle ilişkili olan ve bu çalışmada belirlenen 873 cm⁻¹ dalga sayısındaki pik de literatürde verilen değerler ile uyum göstermektedir. AlAlOH ve AlFeOH bağlarını, Tabak vd. (2007) 888 cm⁻¹ ve 999 cm⁻¹ dalga sayılarında, Eisazadeh vd. (2012) 885 cm⁻¹ ve 913 cm⁻¹ dalga sayılarında belirlemişlerdir. Etim vd. (2021) ise 882.1 cm⁻¹'deki pikin AlFeOH deformasyonuna, 909.8 ve 995.2 cm⁻¹'deki pikin AlAlOH

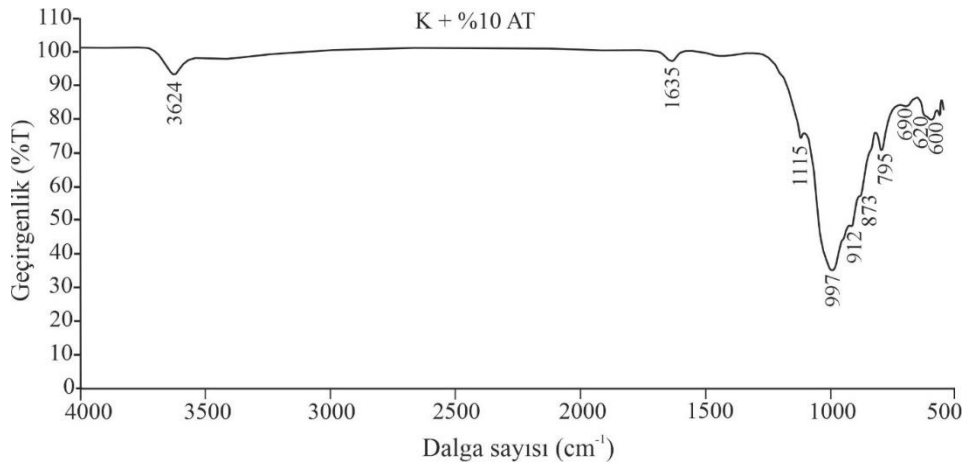
deformasyonuna karşılık geldiğini ifade etmişlerdir. Saeed vd. (2015) ise hidroksil gruplarının OH deformasyonuna karşılık gelen pikin 912 cm^{-1} dalga sayısındaki pik olduğunu belirtmiştir.

Bu çalışmada 795 cm^{-1} dalga sayısında silis ve kuvarın Si-O gerilme titreşimleri gözlenmiştir. Silis ve kuvarın Si-O gerilme titreşimlerini, Bandipally (2017) yaptığı çalışmada 688 ve 795 cm^{-1} , Saeed vd. (2015) 794 cm^{-1} , Tabak vd. (2007) 798 cm^{-1} , Eisazadeh vd. (2012) 778 cm^{-1} ve 791 cm^{-1} , Etim vd. (2021) ise 749.2 cm^{-1} dalga sayısında belirlemişlerdir. Literatürdeki bu değerler göz önüne alındığında bu çalışmada belirlenen pik ile benzer olduğu görülmektedir.

Kilin FT-IR spektrumunda belirlenen diğer bir pik ise 708 cm^{-1} dalga sayısındadır ve bu pikin (Ca, Mg) CO_3 'ün düzlem içi Si-O gerilmesine bağlı olarak oluştuğunu söylemek mümkündür. (Ca, Mg) CO_3 'ün Si-O gerilmesiyle ilişkili olan pikleri Saeed vd. (2015) yaptıkları çalışmalarında 698 cm^{-1} dalga sayısında, Tabak (2007) ise $710-715\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki dalga sayısında belirlemişlerdir.

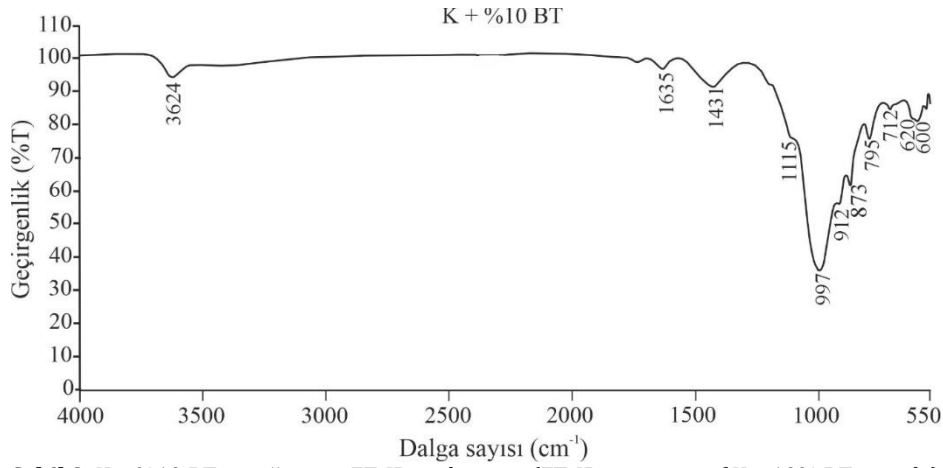
600 cm^{-1} ve 620 cm^{-1} dalga sayısındaki pikler ise Al-O ve Si-O gerilmesiyle ortaya çıkan piklerdir. Eisazadeh vd. (2012) tarafından 620 cm^{-1} dalga sayısında belirlenen pik Al-O ve Si-O bağlarını vermektedir ve bu çalışmayla uyumludur.

Katkısız kile %10 asidik tuf (AT) katkısı eklenen 2 nolu örneğe ait FT-IR spektrumunda (Şekil 2) belirlenen pik sayısı 10'dur (Tablo 3) ve bu piklere ait dalga sayıları katkısız kilde belirlenen pikler ile hemen hemen aynıdır. Asidik tufün bileşimindeki CaO oranının %0.76 (Tablo 1) gibi çok düşük bir değerde olması nedeniyle %10 asidik tuf katkısı puzolanik reaksiyona ve dolayısıyla moleküler değişime neden olmamış ve bu nedenle kilin yapı bileşenlerinde herhangi bir değişim meydana getirmemiştir.



Şekil 2. K + %10 AT örneğine ait FT-IR spektrumu (FT-IR spectrum of K + 10% AT sample)

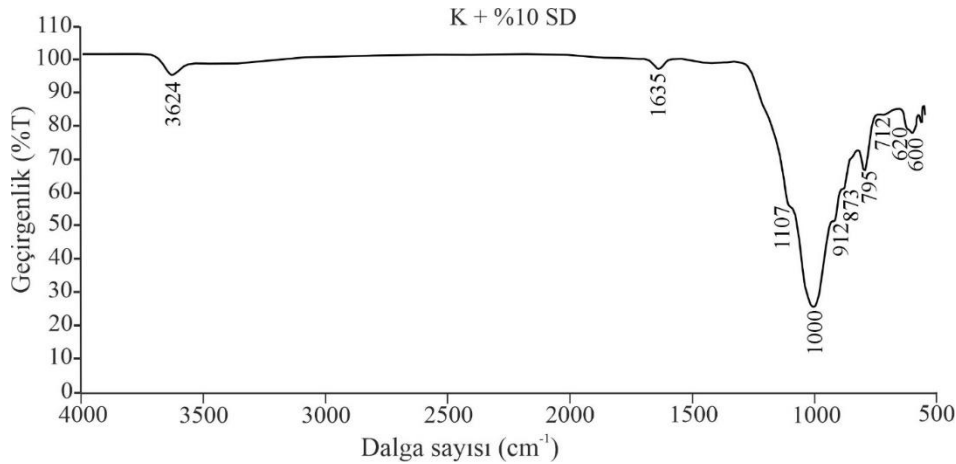
%10 bazık tuf katkılı 3 nolu örneğin spektrumunda 11 pik belirlenmiştir (Tablo 3) ve bu örneğe ait FT-IR spektrumunda (Şekil 3) katkısız kilden farklı olarak 1431 cm^{-1} dalga sayısında yeni bir pik oluşmuştur. (Ca, Mg) CO_3 gerilimiyle ilişkili olan bu pik CaO'dan kaynaklanmaktadır. Nitekim bazık tufün bileşiminde %28.70 oranında CaO bulunmaktadır (Tablo 1) ve 1431 cm^{-1} dalga sayısında gözlenen bu pik, CaO değeri yüksek olan bazık tuf katkısıyla gelişen puzolanik reaksiyonu göstermektedir. Bu pikin puzolanik reaksiyonlar sonucu oluşan C-S-H ve C-A-S-H bileşikleriyle ilişkili olduğu söylenebilir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, Tabak vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada $1430-1382\text{ cm}^{-1}$ aralığında belirlenen piklerin (Ca, Mg) CO_3 gerilimiyle ilişkili olduğu belirtilmiştir.



Şekil 3. K + %10 BT örneğine ait FT-IR spektrumu (FT-IR spectrum of K + 10% BT sample)

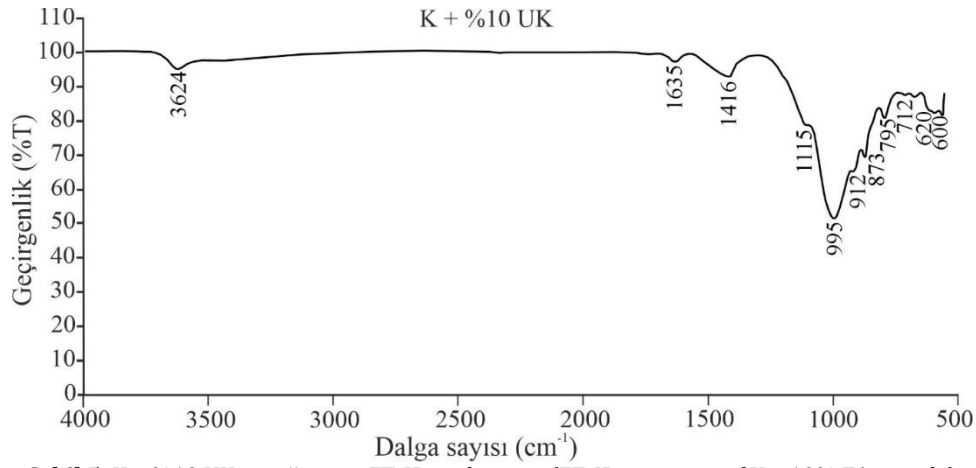
Ayrıca Dorum vd. (2010) 1418 cm^{-1} dalga sayısında ve Koçak (2010) 1475 cm^{-1} dalga sayısındaki piklerin CO_3^{2-} gerilmesiyle ilişkili olduğunu ifade etmiştir. Bandipally (2017) 1418 cm^{-1} dalga sayısındaki pikin kireçteki Ca-O bağlarının özelliği olduğunu, Eisazadeh vd. (2012) ise 1420 cm^{-1} dalga sayısındaki pikin kireçteki Ca-OH titreşimiyle ilişkili olduğunu belirtmektedirler. Saeed vd. (2015) 1425 cm^{-1} , Amiralian (2013) 1461 cm^{-1} , Chen vd. (2022) 1460 cm^{-1} dalga sayılarında belirlenen piklerin kalsit varlığına işaret ettiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca Etim vd. (2021) kireç katkısıyla birlikte gözlenen 1420.1 cm^{-1} dalga sayısındaki pikin, C-S-H ve C-A-S-H bileşikleri formundaki kalsit ile ilişkili olduğunu belirtmektedirler.

Bentonite %10 oranında silis dumanı eklenerek elde edilen 4 nolu örneğin FT-IR spektrumunda (Şekil 4) 10 pik belirlenmiştir (Tablo 3). Bu pikler katkısız kile ait pikler ile karşılaştırıldığında, elde edilen piklerin katkısız kil ile aynı olduğu görülmektedir. Bu sonuç, silis dumanı katkısının puzolanik reaksiyon ve moleküler değişim oluşturmadığını göstermektedir. Çünkü silis dumanının CaO oranı %0.35'dir (Tablo 1) ve bu değer puzolanik reaksiyon oluşturabilmek için yeterli değildir.



Şekil 4. K + %10 SD örneğine ait FT-IR spektrumu (FT-IR spectrum of K + 10% SF sample)

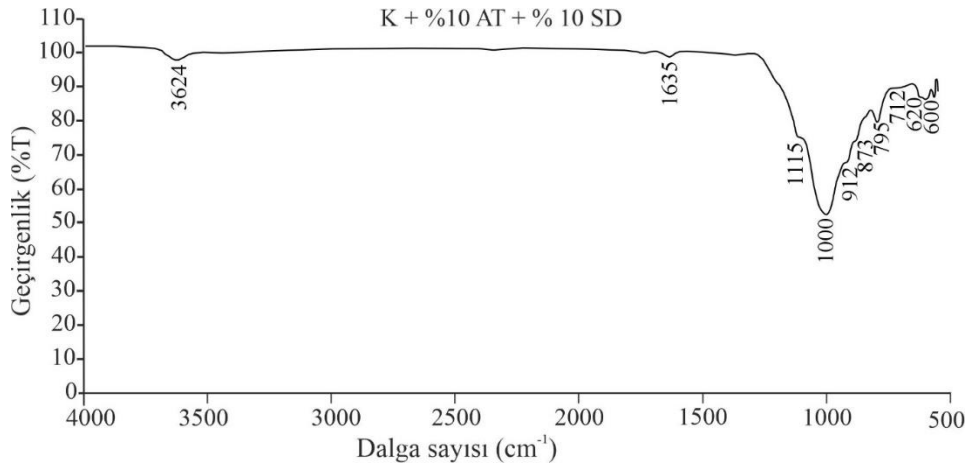
Şekil 5'te %10 uçucu kül katkılı kil örneğinin FT-IR analizine ait pikler görülmektedir. Toplam 11 pikin elde edildiği (Tablo 3) bu örnekte katkısız kilin FT-IR spektrumundan farklı olarak 1416 cm^{-1} dalga sayısında yeni bir pik oluşmuştur. Bu yeni pik uçucu külün bileşimindeki %34.20 oranındaki CaO etkisiyle gelişen puzolanik reaksiyonlar sonucu oluşan C-S-H ve C-A-S-H bileşikleriyle ilişkilidir. Nitekim Etim vd. (2021) 1420.1 cm^{-1} dalga sayısı, C-S-H ve C-A-S-H bileşikleriyle ilişkilili olduğunu belirtmektedir.



Şekil 5. K + %10 UK örneğine ait FT-IR spektrumu (FT-IR spectrum of K + 10% FA sample)

ASTM C 618 (2012) $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı %50'den fazla olan külleri C sınıfı uçucu küller olarak sınıflandırmaktadır. C sınıfı uçucu küllerde CaO %10'dan fazla olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar ve puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler. Bu çalışmada kullanılan uçucu külün bileşimindeki toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı yaklaşık %50'dir ve CaO %10'dan fazladır (Tablo 1). Bu nedenle de külün puzolanik özelliğinin yanı sıra hidrolik bağlayıcı özelliği de bulunmaktadır.

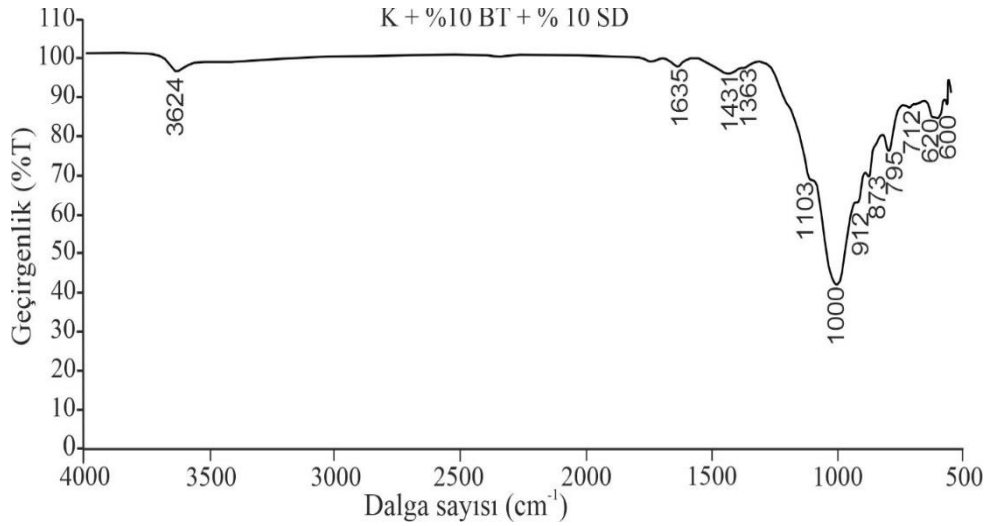
%10 asidik tüf ile %10 silis dumanı katkılarının birlikte kullanıldığı 6 nolu örneğin FT-IR spektrumunda belirlenen pik sayısı 10'dur (Şekil 6).



Şekil 6. K + %10 AT + %10 SD örneğine ait FT-IR spektrumu (FT-IR spectrum of K + 10% AT + 10% SF sample)

Bu pikler katkısız kilin FT-IR spektrumundan belirlenen piklere çok benzerdir ve sadece çok küçük kaymalar vardır. Silis dumanının bileşiminde CaO miktarının %0.35 ve asidik tüfün bileşiminde CaO miktarının ise %0.76 (Tablo 1) olmasından dolayı bu örnekte stabilizasyon sonrasında puzolanik reaksiyon gelişmemiştir. Bu nedenle asidik tüf ve silis dumanı katkısıyla kilin yapı bileşenlerinde önemli bir değişim meydana gelmemiş ve FT-IR spektrumlarında belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir.

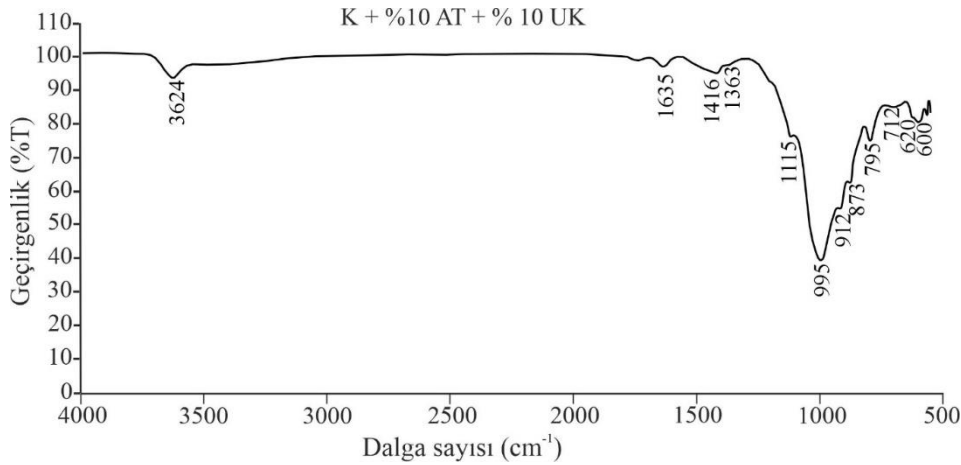
Katkı olarak %10 bazık tüf ve %10 silis dumanının birlikte kullanıldığı diğer bir örnek ise 7 nolu örnektir ve bu örneğe ait FT-IR analizinden elde edilen spektrumda (Şekil 7) 12 pik belirlenmiştir (Tablo 3). Bu örnekte katkısız kilden farklı olarak 1363 cm^{-1} ve 1431 cm^{-1} dalga sayılarında iki yeni pikler belirlenmiştir. Bu pikler, (Ca, Mg) CO_3 gerilimiyle ilişkilidir ve CaO'dan kaynaklanmaktadır.



Şekil 7. K + %10 BT + %10 SD örneğine ait FT-IR spektrumu (FT-IR spectrum of K + 10% BT + 10% SF sample)

Nitekim, Tabak vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada 1430-1382 cm^{-1} aralığında belirlenen piklerin (Ca, Mg) CO_3 gerilimiyle ilişkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Dorum vd. (2010) 1418 cm^{-1} dalga sayısında ve Koçak (2010) 1475 cm^{-1} dalga sayısındaki piklerin CO_3^{2-} gerilmesiyle ilişkili olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca Etim vd. (2021) kireç katkısıyla birlikte gözlenen 1420.1 cm^{-1} dalga sayısındaki pikin, C-S-H ve C-A-S-H bileşikleri formundaki kalsit ile ilişkili olduğunu belirtmektedirler. Bu çalışmada belirlenen 1363 cm^{-1} ve 1431 cm^{-1} dalga sayılarındaki piklerin, bazik tütün bileşimindeki %28.70 oranındaki CaO etkisiyle gelişen puzolanik reaksiyonun sonucu olarak ortaya çıktığı söylenebilir.

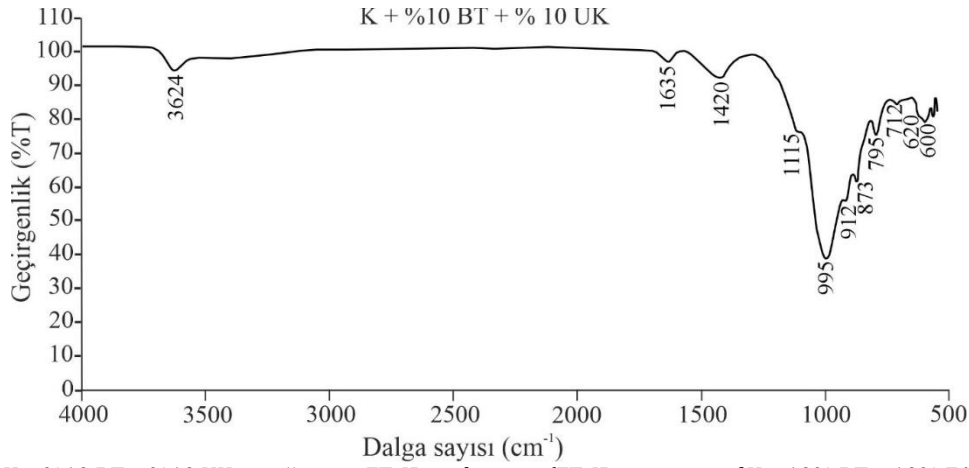
Kile %10 asidik tütün ve %10 uçucu kül eklenerek elde edilen 8 nolu örnekte yapılan FT-IR analizlerinden elde edilen spektrumda (Şekil 8) toplam 12 pik elde edilmiştir.



Şekil 8. K + %10 AT + %10 UK örneğine ait FT-IR spektrumu (FT-IR spectrum of K + 10% AT + 10% FA sample)

Elde edilen piklerden 1363 cm^{-1} ve 1416 cm^{-1} dalga sayısındaki pikler katkısız kilde olmayan iki yeni piktir ve bu pikler (Ca, Mg) CO_3 gerilimiyle ilişkilidir ve CaO'dan kaynaklanmaktadır. Tabak vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada 1430-1382 cm^{-1} aralığında belirlenen piklerin (Ca, Mg) CO_3 gerilimiyle ilişkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Etim vd. (2021) kireç katkısıyla birlikte gözlenen 1420.1 cm^{-1} dalga sayısındaki pikin, C-S-H ve C-A-S-H bileşikleri formundaki kalsit ile ilişkili olduğunu belirtmektedirler. Bu örnekte asidik tütün $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarının %90.27 ve uçucu külün ise CaO miktarının %34.20 (Tablo 1) olmasından dolayı asidik tütün ve uçucu külün birlikte kullanıldığı örnekte puzolanik reaksiyonlar gelişmiş ve farklı iki dalga sayısında yeni pikler oluşmuştur.

İki farklı katkının birlikte kullanıldığı diğer bir örnek ise 9 nolu örnektir ve %10 bazik tütün ile %10 uçucu kül katkılı bu örneğin FT-IR analiz sonuçlarına (Şekil 9) göre elde edilen pik sayısı 11'dir (Tablo 3). Katkısız kil örneğinden farklı olarak bu örnekte 1420 cm^{-1} dalga sayısında yeni bir pik oluşmuştur ve bu pikte bazik tütün uçucu kül eklenmesiyle bir miktar tepe kayması meydana gelmiştir. Bu pikin uçucu külün bileşimindeki %34.20 ve bazik tütün bileşimindeki %28.70 CaO'nun (Tablo 1) oluşturduğu puzolanik reaksiyonlar sonucu oluşan C-S-H ve C-A-S-H bileşikleri ile ilişkili olduğu söylenebilir.



Şekil 9. K + %10 BT + %10 UK örneğine ait FT-IR spektrumu (FT-IR spectrum of K + 10% BT + 10% FA sample)

3.2. FT-IR Spektrumlarındaki geçirgenliğin (T) değerlendirilmesi (Evaluation of the transmittance (T) in the FT-IR Spectra)

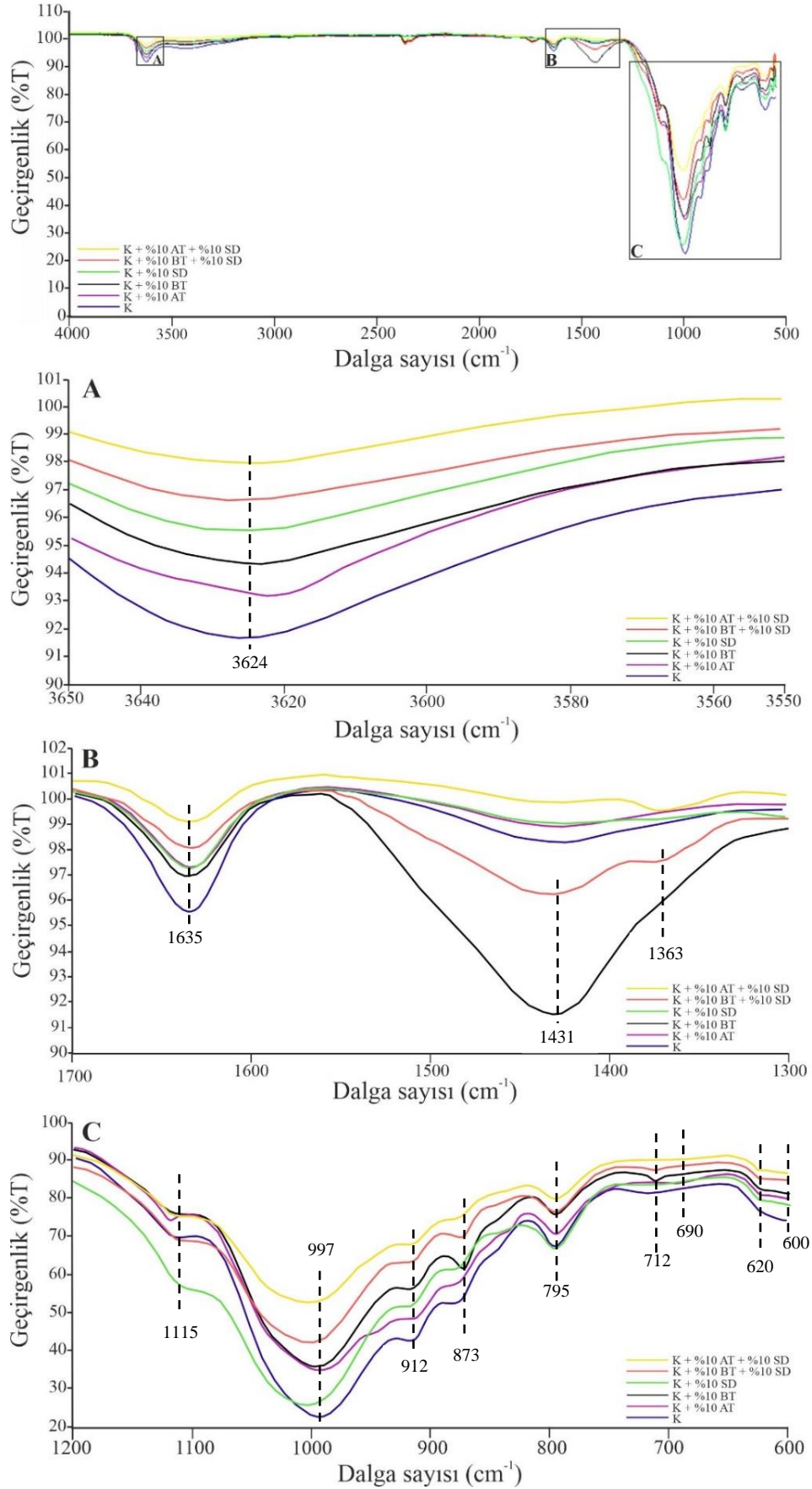
Beer-Lambert Yasası'na göre bir çözeltiliden geçen ışık miktarı, çözelti derişimi, ışığın çözeltiliden geçerken aldığı yol ile logaritmik olarak ters, absorblanan ışık miktarı ile doğru orantılıdır. Çözeltiyeye gelen monokromatik ışığın bir kısmı çözelti tarafından absorbe edilir, diğer kısmı ise ortamdan serbestçe geçerek dedektör üzerine düşer ve fotoelektrik olay sonucunda elektriksel sinyale dönüşür. Çözeltinin ışığı geçirme oranı ise transmittans yani geçirgenlik (T) olarak ifade edilir ve örnekten geçen ışığın enerjisinin (I), örneğe gelen ışık enerjisine (I₀) oranının 100 ile çarpımına eşittir. Bu T değeri çözeltiyeye giren ışığın yüzde kaçının çözeltiliden çıktığını gösterir. Gelen ışığın tamamının absorbe edildiği durumda %T sıfır, tamamının geçtiği durumda ise %T 100 değerine eşittir (Çakatay vd. 2010). T değerinin tersinin logaritması ise absorbans (A) olarak tanımlanır ve çözeltiliden geçen ışığın absorbe edilmesi olarak ifade edilir. T değer, %0 - 100 arasında, absorbans ise 0 ile sonsuz arasında değişmektedir.

Katkısız ve katkılı örneklerde yapılan FT-IR analizleri sonucunda elde edilen spektrumlardaki T değerleri, silis dumanı-tüf katkılı ve uçucu kül tüf katkılı örnekler olmak üzere iki grupta değerlendirilmiştir. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa kile katkı maddelerinin eklenmesiyle birlikte, örneklere ait piklerde önemli bir tepe kayması görülmemiş fakat pikler bir miktar genişlemiş, şiddetleri azalmış, %T değerleri ise artış göstermiştir (Şekil 10 ve 11).

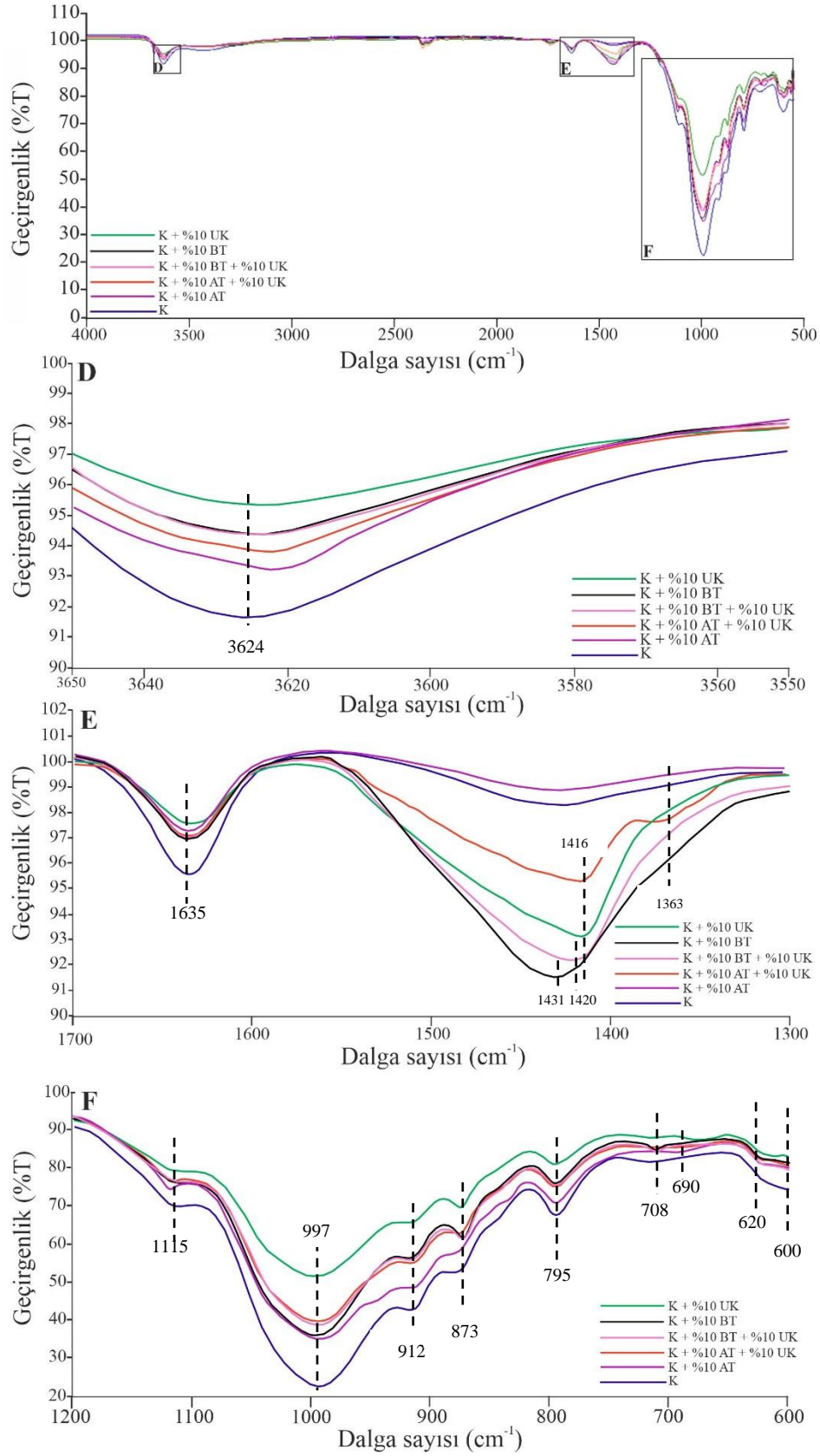
Katkısız ve katkılı örneklere ait olan ve Şekil 10A ve Şekil 11D'de verilen spektrumlar incelendiğinde, kile CaO içeren katkı maddelerinin eklenmesi sonucunda katkılı örneklere ait 1635 cm⁻¹'deki pikin T değerleri katkısız kildeki bu pike ait T değerine göre artmış, pikin şiddeti ise azalmıştır. Bu pik moleküler suya atfedildiğinden ve 3624 cm⁻¹'deki geniş pikle neredeyse örtüşen bir eğilim gösterdiğinden, absorbanstaki düşüşün ana nedeni artan puzolanik reaksiyon oranları ve ardından reaksiyon ürünlerinin hidrasyonu olabilir (Bandipally, 2017).

Katkısız kile eklenen katkılar sonucunda katkısız kilin FT-IR spektrumunda bulunmayan 1363 cm⁻¹, 1416 cm⁻¹, 1420 cm⁻¹, 1431 cm⁻¹ dalga sayılarında yeni pikler belirlenmiş ve katkısız kile göre pik şiddetleri artmıştır. Katkısız kilde ve kirecin olmadığı yani (%0 CaO içeriği için) %T değerleri yüksek iken, bileşiminde CaO olan katkılar kile eklendikçe geçirgenlik değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. T değerinde en fazla azalma %10 BT katkılı örnekte meydana gelmiştir (Şekil 10B, 11E).

Katkısız kilde 600-1115 cm⁻¹ dalga sayılarında belirlenen ve Si-O bağına karşılık gelen pikler katkılarının eklenmesiyle birlikte kademeli olarak genişlemiş, pik şiddetleri azalmış ve % T değerleri artış göstermiştir (Şekil 10C, 11F). Bu durum yüksek alkali ortamdaki yapısal silika ve alümina içeriklerinin hızlı çözünmesinin bir sonucu olarak, kireç ile etkileşimi esnasında kil mineral yapısının parçalanmasından kaynaklanıyor olabilir (Bandipally, 2017). %T değerlerinde %10 AT + %10 SD ve %10 UK katkısının kullanıldığı örnekte en fazla artış olmasına rağmen tüm örneklerdeki değişim birbirine çok benzerdir.



Şekil 10. Silis dumanı ve tüf katkılı örneklerin FT-IR spektrumlarının karşılaştırılması (Comparison of FT-IR spectra of silica fume and tuff added samples)



Şekil 11. Uçucu kül ve tüf katkılı örneklerin FT-IR spektrumlarının karşılaştırılması (Comparison of FT-IR spectra of fly ash and tuff added samples)

4. Sonuçlar (Results)

Stabilizasyon sonrası meydana gelen mikro yapısal değişimleri belirlemek için katkısız ve katkılı örneklerde yapılan FT-IR analizinden elde edilen sonuçları şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Katkısız kilde belirlenen pikler Si-O, Al-O, O-H bağlarının özelliği olan piklerdir.
- Sadece asidik tüfün tek başına katkı olarak kullanılması FT-IR spektrumunda bir değişim meydana getirmemiştir, bunun nedeni asidik tüfün bileşiminde puzolanik reaksiyon başlatacak oranda CaO bulunmamasıdır.
- Katkı olarak CaO değeri yüksek olan bazik tüfün kullanıldığı örnekte, katkısız kilden farklı olarak 1431 cm^{-1} 'de yeni bir pik oluşmuştur. Bu pik (Ca, Mg) CO_3 gerilimiyle ilişkilidir ve CaO'dan kaynaklanmaktadır.
- Silis dumanının katkı olarak kullanılması durumunda, katkılı örneğin FT-IR spektrumunda katkısız kilin FT-IR spektrumuna göre önemli bir farklılık belirlenmemiştir. Bu durum silis dumanı puzolanik bileşenlerinin ortamda kireç olmaması (ya da çok az olması) nedeniyle C-S-H oluşturmamasına dayandırılmıştır.
- Katkı olarak uçucu külün kullanıldığı örneğin FT-IR spektrumunda katkısız kile ait spektrumdan farklı olarak 1416 cm^{-1} dalga sayısında oluşan yeni pik, uçucu küldeki yüksek CaO oranı etkisiyle gelişen puzolanik reaksiyonlar sonucunda oluşan C-S-H ve C-A-S-H bileşikleriyle ilişkilidir.
- Silis dumanı ve asidik tüfün birlikte kullanıldığı örneğe ait FT-IR spektrumunda katkısız kile ait spektrumundaki pikler ile aynı pikler elde edilmiştir. Bunun nedeni ise hem silis dumanı hem de asidik tüfün CaO içeriğinin çok düşük oranda olması nedeniyle puzolanik reaksiyonlar gelişmemiş olmasıdır.
- Silis dumanı ve bazik tüfün birlikte kullanıldığı örneğe ait FT-IR spektrumunda katkısız kilden farklı olarak 1363 cm^{-1} ve 1431 cm^{-1} dalga sayılarında yeni pikler oluşmuştur. Bu pikler (Ca, Mg) CO_3 gerilimiyle ilişkilidir ve kile eklenen katkıların etkisiyle puzolanik reaksiyon geliştiğini söylemek mümkündür.
- Asidik tüf ve uçucu külün kullanıldığı örnekte ise 1363 cm^{-1} ve 1416 cm^{-1} dalga sayılarında ve katkısız kilin FT-IR spektrumunda bulunmayan iki yeni pik meydana gelmiştir. Bu pikler puzolanik reaksiyon ile gelişen C-S-H ve C-A-S-H bileşikleriyle formundaki ile ilişkilidir.
- Katkılı örnekler için T değerleri katkısız kile ait T değeri ile karşılaştırıldığında, genel olarak kile katkı maddelerinin eklenmesiyle örneklerde ait piklerde önemli bir tepe kayması görülmemiş fakat pikler bir miktar genişlemiş, şiddetleri azalmış, %T değerleri ise artış göstermiştir.
- Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan veriler, puzolanik reaksiyonların en iyi %10 bazik tüf + %10 silis dumanı katkılı (7) nolu örnek ile %10 asidik tüf + %10 uçucu kül katkılı (8) nolu örneklerde geliştiğini göstermektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Akbulut, A., 1996. Bentonit. MTA Eğitim Serisi-32, Ankara.
- Aksoy, H.S., Yılmaz, M., Akarsu, E.E., 2008. Killi Bir Zeminin Tunçbilek Uçucu Külü Kullanılarak Stabilizasyonu. Doğu Anadolu Bölgeleri Araştırmaları.
- Al-Rawas, A.A., Hago, A.W., Al-Sarmi, H., 2005. Effect of Lime, Cement and Sarooj (Artificial Pozzolan) on The Swelling Potential of an Expansive Soil from Oman. Building & Environment, 40(5), 681-687.
- Amiralian, S., 2013. Study on Soil Stabilisation Technique Using Lime & Fly Ash. Master Thesis, Faculty of Science and Engineering, Department of Civil Engineering, Curtin University.
- Anon, 2010. JASCO FTIR Seminar. <http://www.jasco.hu/konyvtar/FT-IR-Grundl.-Seminar.pdf>.
- Asgari, M.R., Dezfuli, A.B., Bayat, M., 2015. Experimental Study on Stabilization of a Low Plasticity Clayey Soil With Cement/Lime. Arabian Journal of Geosciences, 8(3), 1439-1452.
- Aslan Topçuoğlu, Y., 2020. Farklı Katkı Maddelerinin Zeminlerin Mühendislik Özellikleri Üzerindeki Etkisi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- ASTM C 618-12, 2012. Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in Concrete. West Conshohocken, ASTM International. PA.
- ASTM D698-12e2, 2012. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. American Society for Testing and Materials.
- Attoh-Okine, N.O., 1995. Lime Treatment of Laterite Soils and Gravels-Revisited. Constr. Build. Mater, 9(5), 283-287.
- Azadegan, O., Jafari, S.H., Li, J., 2012. Compaction Characteristics and Mechanical Properties of Lime/Cement Treated Granular Soils. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 17, 2275-2284.
- Bandipally, S., 2017. Characterization of Lime-Treated Soils for Assessing Short-Term Strength Behavior. Master Thesis, Geotechnical Engineering Division, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Madras.
- Bilgiç, C., Bilgiç, Ş., 2018. Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy to Analysis of Clays. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(İMSMATEC Özel Sayı), 37-46.

- Boardman, D.I., Glendinning, S., Rogers, C.D.F., 2001. Development of Stabilization and Solidification in Lime-Clay Mixes. *Geotechnique*, 51(6), 533-543.
- Bukka, K., Miller, J.D., Shabtai, J., 1992. FTIR Study of Deuterated Montmorillonites: Structural Features Relevant to Pillared Clay Stability. *Clays and Clay Minerals*, 40, 92-102.
- Chen, K., Wu, D., Zhang, Z., Pan, C., Shen, X., Xia, L., Zang, J., 2022. Modeling and Optimization of Fly Ash-Slag-Based Geopolymer Using Response Surface Method And its Application in Soft Soil Stabilization. *Construction and Building Materials*, 315.
- Cheng, Y., Wang, S., Li, J., Huang, X., Li, C., Wu, J., 2018. Engineering and Mineralogical Properties of Stabilized Expansive Soil Compositing Lime and Natural Pozzolans. *Construction and Building Materials*, 187, 1031-1038.
- Clayden, N., Esposito, S., Aronne, A., Pernice, P., 1999. Solid state ^{27}Al NMR and FTIR study of lanthanum aluminosilicate glasses. *J. Non-Cryst. Solids* 258 (1-3), 11-19.
- Criado, M., Fernández-Jiménez, A., Palomo, A., 2007. Alkali activation of fly ash: effect of the $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ratio: Part I: FTIR study. *Microporous Mesoporous Mater.* 106 (1-3), 180-191.
- Cuisinier, O., Auriol, J.C., Le Borgne, T., Deneele, D., 2011. Microstructure and Hydraulic Conductivity of a Compacted Lime-Treated Soil. *Engineering Geology*, 123(3), 187-193.
- Çakatay, U., Aydın, S., Belce A., 2010. *Biyokimyada Temel Hesaplamalar*, (s. 1-64). Kitapta Bölüm/Araştırma Kitabı, İstanbul Üniversitesi Basım ve Yayınevi Müdürlüğü.
- Dorum, A., Yılmaz, B., Koçak, Y., Uçar, A., 2010. Puzolan Yüzey Özelliklerinin Çimento Harçlarının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 5(2), 448-462.
- Eisazadeh, A., Kassim, K.A., Nur, H., 2012. Solid-State NMR and FTIR Studies of Lime Stabilized Montmorillonitic and Lateritic Clays. *Applied Clay Science*, 67-68, 5-10.
- Etim, R.K., Attah, I.C., Ekpo, D.U., Usanga, I.N., 2021. Evaluation on Stabilization Role of Lime and Cement in Expansive Black Clay-Oyster Shell Ash Composite. *Transportation Infrastructure Geotechnology*.
- Genç, S., 2009. *Şişen Zeminler ve Bentonit-Kaolin Karışımlarının Şişme Özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Gomes, C.E.M., Ferreira, O.P., 2005. Analyses of Microstructural Properties of Va/Veova Copolymer Modified Cement Pastes. *Polimeros: Ciencia E Tecnologia*, 15 (3), 193-198.
- Gomes, C.E.M., Ferreira, O.P., Fernandes, M.R., 2005. Influence of Vinyl Acetate-Versatic Vinylester Copolymer on The Microstructural Characteristics of Cement Pastes. *Material Research*, 8 (1), 51-56.
- Goodarzi, A.R. Goodarzi, S.H., Akbari, H.R., 2015. Assessing Geo-Mechanical and Micro-Structural Performance of Modified Expansive Clayey Soil by Silica Fume As Industrial Waste. *Iranian Journal of Science And Technology-Transactions of Civil Engineering*, 39(C2), 333-350.
- Govin, A., Peschard, A., Guyonnet, R., 2006. Modification of Cement Hydration at Early Ages by Natural and Heated Wood. *Cement Concrete Composites*, 28 (1), 12-20.
- Gunasekaran, S., Anbalagan, G., 2007. Spectroscopic Characterization of Natural Calcite Minerals. *Spectrochimica Acta (Part A)*, 68, 656-664.
- Gündüz, T., 1990. *İnstrümental Analiz*, (s.122,123). Bilge Yayıncılık, Ankara.
- Hajimohammadi, A., Provis, J.L., Van Deventer, J.S.J., 2011. The Effect of Silica Availability on The Mechanism of Geopolymerisation. *Cement and Concrete Research*, 41(3), 210-216.
- Harichane, K., Ghrici, M., Khebizi, W., Missoum, H., 2011. Effet de la combinaison de la chaux et de la pouzzolane naturelle sur la durabilité des sols argileux. *Proceedings of 29th meeting of AUGC-Tlemcen, Algeria*, 65-75.
- Hossain, K.M.A., Mol, L., 2011. Some Engineering Properties of Stabilized Clayey Soils Incorporating Natural Pozzolans and Industrial Wastes. *Construction and Building Materials*, 25(8), 3495-3501.
- Karakaya, M.Ç., 2006. *Kil Minerallerinin Özellikleri ve Tanımlama Yöntemleri*. Bizim Büro Basımevi, Ankara, 541-595.
- Kaze, C.R., Djobo, J.N.Y., Nana, A., Tchakoute, H.K., Kamseu, E., Melo, U.C., Leonelli, C., Rahier, H., 2018. Effect of Silicate Modulus On The Setting, Mechanical Strength and Microstructure of Iron-Rich Aluminosilicate (Laterite) Based-Geopolymer Cured At Room Temperature. *Ceramics International*, 44 (17), 21442-21450.
- Kechouane, Z., Nechnech, A., 2015. Characterization of an Expansive Clay Treated with Lime: Effect of Compaction on The Swelling Pressure. 4th International Congress in Advances in Applied Physics and Materials Science (APMAS 2014), 020057-1-020057-8.
- Koca, C., 1996. Yüksek Performanslı Beton Üretiminde Mikrosilis, Curuf, Klinker Karışımı Çimento Kullanımı. 4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar Bildiri Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 381-394.
- Kocak, Y., 2010. A Study on the Effect of Fly Ash and Silica Fume Substituted Cement Paste and Mortars. *Scientific Research and Essays*, 5(9), 990-998.
- Kristaly, F., Szabo, R., Madai, F., Debreczeni, A., Mucsi, G., 2021. Lightweight composite from fly ash geopolymer and glass foam. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 10 (1), 1-22.
- Kupwade-Patil, K., Palkovic, S.D., Bumajdad, A., Soriano, C., Büyüköztürk, O., 2018. Use of Silica Fume and Natural Volcanic Ash As A Replacement to Portland Cement: Micro and Pore Structural Investigation Using NMR, XRD, FTIR and X-Ray Microtomography. *Construction and Building Materials*, 158, 574-590.
- Lemougna, P.N., Wang, K.-T., Tang, Q., Cui, X.-M., 2017b. Synthesis and Characterization of Low Temperature (< 800 °c) Ceramics From Red Mud Geopolymer Precursor. *Construction and Building Materials*, 131, 564-573.
- Lin, S.Y., Wang, S.L., 2012. Advances in Simultaneous DSC-FTIR Microspectroscopy for Rapid Solid-State Chemical Stability Studies: Some Dipeptide Drugs as Examples. *Adv Drug Delivery Rev*, 64, 461-478.
- Lin, B., Cerato, A.B., Madden, A.S., Elwood Madden, M.E., 2013. Effect of Fly Ash on the Behavior of Expansive Soils: Microscopic Analysis. *Environmental Engineering Geoscience*, 19(1), 85-94.
- Madejova, J., Komadel, P., 2001. Baseline Studies of The Clay Minerals Society Source Clays: Infrared Methods. *Clays and Clay Minerals*, 49(5), 410-432.
- Mahamedi, A., Khemissa, M., 2013. Cement Stabilization of Compacted Expansive Clay. *Online j. Sci. Technol.*, 3(1), 33-38.

- Mak, Y.W., Chuah, L.O., Ahmad, R., Bhat, R., 2013. Antioxidant and Antibacterial Activities of Hibiscus (*Hibiscus rosa-sinensis L.*) and Cassia (*Senna bicapsularis L.*) Flower Extracts. *Journal of King Saud University Science*, 25(4), 275-282.
- Mallela, J., Quintus, H.V., Smith, K.L., 2004. Consideration of Limestabilized Layers in Mechanistic-Empirical Pavement Design. The National Lime Association, Arlington, Virginia, USA.
- Marel, H.W.V.D., Beutelspacher, H., 1976. Atlas of Infrared Spectroscopy of Clay Minerals and Their Admixtures. Elsevier Scientific Publishing, Amsterdam.
- Miraki, H., Shariatmadari, N., Ghadir, P., Jahandari, S., Tao, Z., Siddique, R., 2022. Clayey Soil Stabilization Using Alkali-Activated Volcanic Ash And Slag. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 14(2), 576-591.
- Murmu, A.L., Jain, A., Patel, A., 2019. Mechanical Properties of Alkali Activated Fly Ash Geopolymer Stabilized Expansive Clay. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23 (9), 3875-3888.
- Nacamoto, K., 1970. Infrared Spectra of Inorganic and Coordinated Compound. Wiley, New York.
- Önem, Y., 2000. Sanayi Madenleri. Kozan Ofset, Ankara.
- Özcan, A.S., 2010. Doğal Bentonitin Karakterizasyonu ve Kurşun(II) İyonlarını Adsorpsiyon Yeteneği. *Anadolu Üniversitesi BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*, 12(2), 85-97.
- Puertas, F., Fernandez-Jimenez, A., 2003. Mineralogical and Microstructural Characterisation of Alkali-Activated Fly Ash/Slag Pastes. *Cement & Concrete Composites*, 25(3), 287-292.
- Puertas, F., Fernandez-Jimenez, A., Blanco-Varela, M.T., 2004. Pore Solution in Alkaliactivated Slag Cement Pastes. Relation to The Composition and Structure of Calcium Silicate Hydrate. *Cement And Concrete Research*, 34(1), 139-148.
- Ramadas, T., Kumar, N.D., Yesuratnam, G., 2011. Geotechnical Characteristics of Three Expansive Soils Treated With Lime and Fly Ash. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 4(6), 46-49.
- Saeed, K.A.H., Kassim, K.A., Yunus, N.Z.M., Nur, H., 2015. Physico-Chemical Characterization of Lime Stabilized Tropical Kaolin Clay. *Jurnal Teknologi*, 72(3), 83-90.
- Tabak, A., Afsin, B., Caglar, B., Koksall, E., 2007. Characterization and Pillaring of A Turkish bentonite (Resadiye). *Journal of Colloid and Interface Science*, 313(1), 5-11.
- Varast, M.J., Alvarez De Buergo, M., Fort, R., 2005. Natural Cement As The Precursor of Portland Cement: Methodology for its Identification. *Cement And Concrete Research*, 35(11), 2055-2065.
- Voottipruex, P., Jamsawang, P., 2014. Characteristics of Expansive Soils Improved With Cement and Fly Ash in Northern Thailand. *Geomechanics and Engineering An Int'l Journal*, 6(5), 437-453.
- Yeğınobalı, A., 2003. Silis Dumanı ve Çimento İle Betonda Kullanımı. *Tçmb/Ar-Ge*, Ankara, 975-8136-14-3.
- Yıldız, K., Dorum, A., Koçak, Y., 2010. Pomza Zeolit ve Cem I Çimentosunun Minerolojik Moleküler Elektrokinetik ve Termal Uyumunun Yüksek Dayanımlı Betona Etkisinin Araştırılması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 25(4), 867-879.
- Zhang, Q., Liu, C., Sun, Z., Hu, X., Shen, Q., Wu, J., 2012. Authentication of Edible Vegetable Oils Adulterated With Used Frying Oil by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Food Chem*, 132, 1607-1613.
- Wang, D., Abriak, N.E., Zentar, R., Chen, W., 2013. Effect of Lime Treatment on Geotechnical Properties of Dunkirk Sediments in France. *Road Materials and Pavement Design*, 14(3), 485-503.



PERFORMANCE IMPROVEMENT IN A 1 MW GRID-CONNECTED PV POWER PLANT INSTALLED IN YATAĞAN-MUĞLA TURKEY VIA STATCOM ON MATLAB-Simulink PORTAL

Altan KALAY^{1*}, Ali AĞÇAL², Koray ÜLGEN³

¹ Department of Electric and Energy, Yatağan Vocational School, Muğla Sıtkı Koçman University, Muğla, Turkey

² Department of Electric-Electronic Engineering, Isparta Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

³ Graduate Faculty of Solar Energy, Ege University, İzmir, Turkey

Keywords

*MATLAB-Simulink,
PV Systems,
STATCOM,
Reactive Power Compensation,
Power Plant.*

Abstract

A grid-connected power system's performance depends on the produced energy's power quality and power coefficient. The higher the power quality of the energy transferred to the grid, the more critical it is for power plants, energy distribution systems and end-users. This study investigated the optimisation possibilities obtained by applying STATCOM (Static VAR Compensation) for a 1 MW PV-based Solar Power Plant (PV-SPP) in the Muğla-Türkiye province. First, the data of components such as the inverter and PV panel that make up the plant were obtained, and the raw MATLAB-Simulink modelling of the plant was carried out. System performance outputs were obtained by adding STATCOM modelling to the obtained modelling. The scientific results of the optimisation would be obtained if this technique was applied to the existing power plant. Since STATCOM also performs the RPC (Reactive Power Compensation) process, it is an up-to-date and effective technique that improves system energy power quality. According to the simulation results, this system with STATCOM draws 24,043% and 11,671% less reactive power and current than the non-STATCOM system.

YATAĞAN-MUĞLA TÜRKİYE' DE KURULU OLAN 1 MW ŞEBEKE BAĞLANTILI BİR PV GÜÇ SANTRALİNDE MATLAB-SIMULINK PORTALINDA STATCOM YOLUYLA PERFORMANS İYİLEŞTİRİLMESİ

Anahtar Kelimeler

*MATLAB-Simulink,
PV-GES,
STATCOM,
Reaktif Güç
Kompanzasyonu,
PV Sistemler.*

Öz

Şebekeye bağlı bir güç sisteminin performansı, üretilen enerjinin güç kalitesine ve güç katsayısına bağlıdır. Şebekeye aktarılan enerjinin güç kalitesi ne kadar yüksekse santraller, enerji dağıtım sistemleri ve son kullanıcılar için o kadar kritiktir. Bu çalışma, Muğla-Türkiye ilinde bulunan 1 MW'lık bir PV tabanlı Güneş Enerjisi Santrali (PV-GES) için STATCOM (Statik VAR Kompanzasyonu) uygulanarak elde edilen optimizasyon olanaklarını araştırmıştır. Öncelikle tesisi oluşturan inverter ve PV panel gibi bileşenlerin verileri elde edilmiş ve tesisin ham MATLAB-Simulink modellemesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen modellemeye STATCOM modellemesi eklenerek sistem performans çıktıları elde edilmiştir. Optimizasyonun bilimsel sonuçları, bu tekniğin mevcut santrale uygulanması durumunda elde edilecektir. STATCOM, RPC (Reaktif Güç Kompanzasyonu) işlemini de içerdiğinden, sistem enerji güç kalitesini iyileştiren güncel ve etkili bir tekniktir. Simülasyon sonuçlarına göre, STATCOM uygulanmış sistem, önceki sisteme göre %24,043 daha az reaktif güç ve %11,671 daha az akım çekmektedir.

*İlgili yazar/Corresponding author: altankalay@mu.edu.tr, 0-252-2115145

Alıntı / Cite

Kalay, A., Ağçal, A., Ülgen, K., (2023). Performance Improvement In A 1 MW Grid-Connected PV Power Plant Installed In Yatağan-Muğla Turkey via Statcom on Matlab-Simulink Portal, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(1), 113-125.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
A. Kalay, 0000-0002-4930-7172	Başvuru Tarihi / Submission Date	29.08.2022
A. Ağçal, 0000-0003-0965-4038	Revizyon Tarihi / Revision Date	19.10.2022
K. Ülgen, 0000-0002-9560-1727	Kabul Tarihi / Accepted Date	24.10.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

PERFORMANCE IMPROVEMENT IN A 1 MW GRID-CONNECTED PV POWER PLANT INSTALLED IN YATAĞAN-MUĞLA TURKEY VIA STATCOM ON MATLAB-Simulink PORTAL

Altan KALAY^{1†}, Ali AĞÇAL², Koray ÜLGEN³

¹Department of Electric and Energy, Yatağan Vocational School, Muğla Sıtkı Koçman University, Muğla, Turkey

²Department of Electric-Electronic Engineering, Isparta Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

³Graduate Faculty of Solar Energy, Ege University, İzmir, Turkey

Highlights

- In the study, the improvement in the quality of the energy produced in a PV system was simulated.
- The work carried out is an efficiency-enhancing method for grid-connected PV plants at present.
- STATCOM technique brings advantages not only for PV power plants but also for end users.

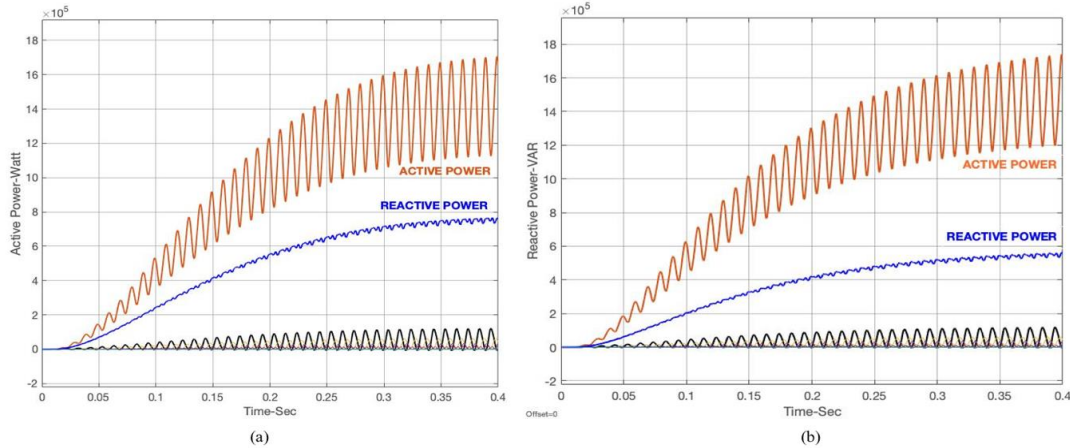
Graphical Abstract

Figure. Active/ reactive power waveform (a) without and (b) with STATCOM

Purpose and Scope

The main purpose of this study is to develop a performance-enhancing technique for transferring the energy produced in a grid-connected PV system to end users in a quality way through the STATCOM application.

Design/methodology/approach

MATLAB-Simulink, which is an effective simulation-modelling tool to achieve the purpose of the study. used. While developing the basic mathematical model on which the method is based, the structural single-line

[†] Corresponding author: altankalay@mu.edu.tr, 0-252-2115145

diagram of a PV power plant and the connected energy transmission line is based. The evaluation was made over AC power equations and vector diagrams, and the model was completed with STATCOM equations.

Findings

From the point reached with the survey, improvements and improvements have been achieved in the parameters that determine the power quality of the energy obtained from the power system.

Originality

In general, studies on STATCOM applications are handled on transmission and distribution systems, but a technique that will not only improve the quality of energy produced in a grid-connected PV plant but also bring improvement in terms of energy transmission and distribution lines is discussed in this study. The study aims to help researchers who carry out optimization activities in power plants and energy systems.

1. Introduction

Global warming threatens the sensitive ecosystems of our world and quickly destroys or damages many natural life forms. One of the most fundamental factors that cause global warming is the fossil fuel-based energy conversion processes that have emerged globally, causing the assumption of greenhouse gases. About 80% of the energy consumed to date is derived from non-renewable energy sources, e.g., fossil fuels (Tobnaghi, 2016). Greenhouse gases and pollutants increase when fossil fuels are converted into electricity or heat. Therefore, the atmosphere is damaged. This situation emerges as the most decisive factor affecting the ecosystem negatively. Due to the gradual depletion of fossil fuels, the need for electrical energy has increased globally. Renewable energy technology has emerged as an effective and appropriate solution to the energy crisis due to its environmentally friendly, green, and pollution-free features, due to both the global pollution and negative environmental impact caused by the energy conversion processes in fossil fuels and the decrease in fossil fuel reserves. PV energy has started to be preferred more among other energy sources due to its inexhaustibility in terms of its energy source and its positive environmental effects. (Priyadarshi et al., 2017). Photovoltaic energy production is widespread as a clean energy source globally, and environmental factors such as working in various environments and solar radiation are critical working parameters for PV systems. Module temperature seriously affects the production performance of systems (Nishioka et al., 2003).

A PV system can operate in different solar radiation and temperature conditions, and its operating performance is directly affected by these factors. (Kameda et al., 1996; Sewang et al., 1994; Hishikawa et al., 1994.). Suppose the PV system is designed as a power plant; power quality, energy transmission efficiency, and the parameters given above affect the total system performance. Some up-to-date techniques have been developed as performance-enhancing optimisation methods for these designs. In general, these techniques are compensation and STATCOM applications, including the RPC process. Unlike manual-mechanical controlled transmission systems, facts devices used in power systems can overcome instantaneous electrical stresses. Industrial development increases the need and demand for such devices in power plants and transmission systems. As energy and power transfer becomes widespread, the use of power electronic elements for system stability and reliability increases, for this reason, generally energy control in PV systems is provided by power electronic converters (İşen et al., 2021).

When examined on the scale of Turkey, the biggest problem of distribution systems is the inability to provide uninterrupted energy to the consumer (Güner et al., 2022). PV-SPPs with STATCOM application can help to reduce these problems.

Harmonic resonances and reactive transmission problems are the leading factors affecting the power quality of PV-SPPs. Such problems directly affect the generation and transmission capacity of the power system (Guo et al., 2020). Studies and developments in this area have gained much more critical attention in increasing the efficiency of compensators' grid and power systems (Dixon et al., 2005). Utilising this study, in the case of applying STATCOM to a PV-SPP installed in the MUĞLA-Yatağan locality, the arrangements obtained in the current-voltage characteristics have been reached. A decrease in current and reactive power values has been achieved, increasing system efficiency.

1.1. STATCOM

The RPC process is defined as controlling the active and reactive power values by interfering with the system's power factor. This way, it is carried out to increase the performance of ac power systems. Reactive power consumes transmission capacity and reduces system efficiency significantly, increasing energy generation and transmission costs. The RPC process generally takes place in two dimensions: load compensation and voltage regulation. With the control of the system power factor, the load compensation is carried out, and the system voltage and current regulation are also realised similarly. The control of harmonics created by large non-linear industrial loads is an important and necessary process. (Wanner et al., 2022; Bonnard 1985).

One of the critical applications that provide stability and dynamic character regarding power transmission, which is one of the essential processes of AC transmission systems, is; STATCOM. A STATCOM consists of complex control systems and IGBTs to dynamically control reactive power, continuously regulating voltage on the transmission line. A STATCOM generally consists of an IGBT voltage-source converter, series-connected phase reactors, and a step-up power transformer.

Key advantages of this process;

- Boost transmission network stability and reliability
- Connect into transmission systems between generation systems and end-users
- Providing reactive power to electric transmission systems

STATCOM devices occupy an important position in terms of new-generation power systems. A STATCOM design is generally implemented as a DC-AC voltage converter developed with a capacitor unit. Together with a transformer, this unit performs control as a Synchronous Voltage Source (SVS) on a dynamic basis. In the STATCOM way and the phase controls of the voltages, the capacitive-inductive current control in the line is realised more quickly (Qingguang et al., 2004). Each STATCOM unit can be considered a DC-AC voltage source. In these systems, capacitor groups are used as the main energy source. Using step-up transformers, the energy obtained from these units is increased to the required voltage values for transmission lines and end users and transferred to the network. In this respect, STATCOM systems also have an SVS feature. STATCOM controls the voltage at the line terminal by controlling the amount of reactive power the power system needs or needs to transfer according to its demand. RPC is performed via the VSC connected to the secondary side of a step-up transformer given to the system or the amount of active power it receives. On the other hand, in relation to other previous studies in this field; some methods and algorithms suggested in parallel with the theory of the study are given in Table 1 (Montoya et al. 2019; Liu et al., 2020; Osman et al., 2004).

Table 1. Proposed methods associated with the study

SYMBOL	YEARS	AUTHORS	ALGORITHM
GA	2019	Francisco G. Montoya	Geometric algebra
NTDS	2020	Muyang Liu, etc.	Neutral Time-Delay System
PSO	2020	Muyang Liu, etc.	Particle swarm optimisation
DWT	2004	A. H. Osman and O. P. Malik	The discrete wavelet transforms

2. Material and Method

The PV power plant, the basis for the operation, consists of 22 serials-connected BOVIET branded panels with the product code SOLAR-BVM6610P-270, 16 lines comprised of 12, 22 serially connected panels 1 line composed of 8 parallel strings. It consists of a total of 17 inverter-connected lines (Figure 1,2). In addition, the technical specifications of the inverter and PV panels, which form the basis of the PV-SPP system, are given in Tables 2 and 3.



Figure 1. Reviewed PV-S

Table 2. PV panels features of the system

Number of Cells	60	V_{oc}	38,3 V
STC Power	270 W	NOTC	45 °C
I_{MP}	8,71 A	Max. Syst. Voltage	1000 V
V_{MP}	31 V	Number of Panels	4400
I_{sc}	9,16 A		

Table 3 Inverter Features of the System

DC Side-Voltage	720 V	Total Output Power	1,1 MW
DC Side-Power	61,8 kW	Total Output Current	1,6 kA
AC Grid Voltage	380-570 V	Total Output Voltage	682 V
AC Side-Power	71 kW		
Number of Inv.	17		

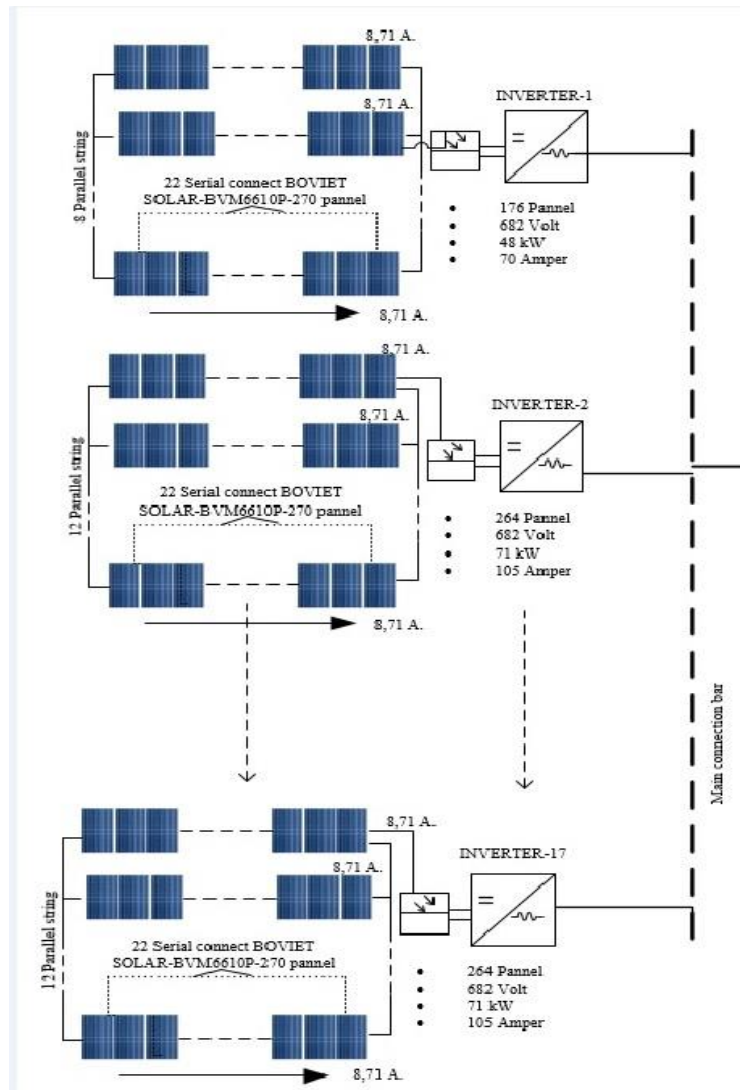


Figure 2. Single-line diagram of PV Strings

2.1. Simulink Modeling of the Studied System

Simulink modelling of the considered system was created based on mathematical models at this study stage. To design Simulink modelling more compact, 16 of 17 sequences with the same parameter values were brought together under a sub-mask. The high-power quality of PV-SPP will increase the efficiency of transmission lines and power systems. It will also get an overall economic benefit by reducing the power values of the components used in transmission lines and production systems. On the other hand, one of the up-to-date and effective techniques to improve power quality in power distribution systems and transmission lines is the STATCOM application. With this application, the distortions (for example, harmonics) occurring in the available waveforms of energy parameters, such as current and voltage transferred to end-users, are brought to an arrangement. At the same time, an increase in the power quality of the energy produced is achieved by performing RPC. The Simulink modelling of this arrangement is given in Every STATCOM module consisting of six IGBT sub-module, a DC capacitor and a control unit. At the same time, Simulink modelling of transmission-distribution grid sections containing distribution lines and end-users was performed and gathered under the sub-system (Figure 3). The single-line diagram, which is the basis for modelling the optimised PV-SPP system, is given in Figure 4.

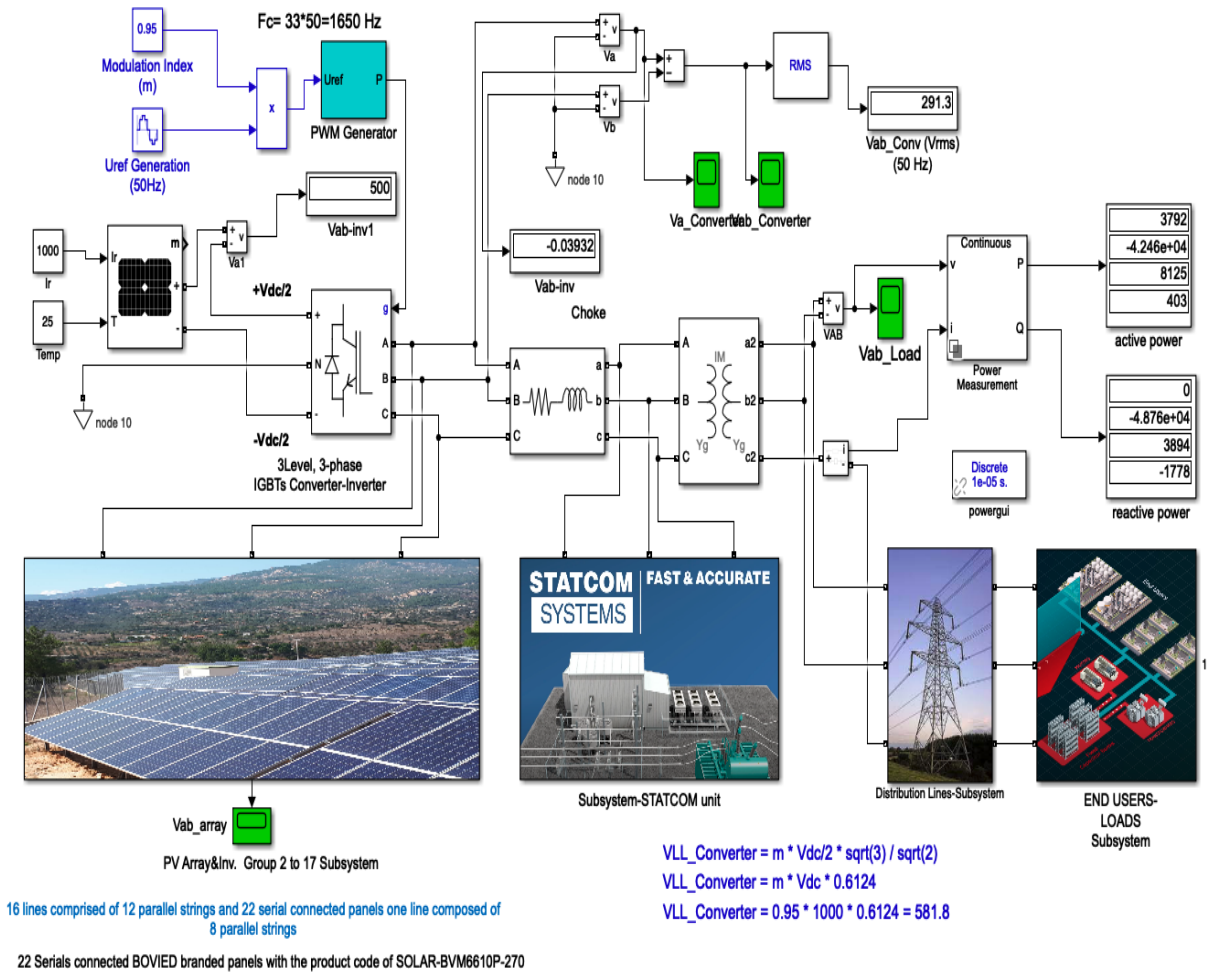


Figure 3. MATLAB-Simulink modelling of the optimised system

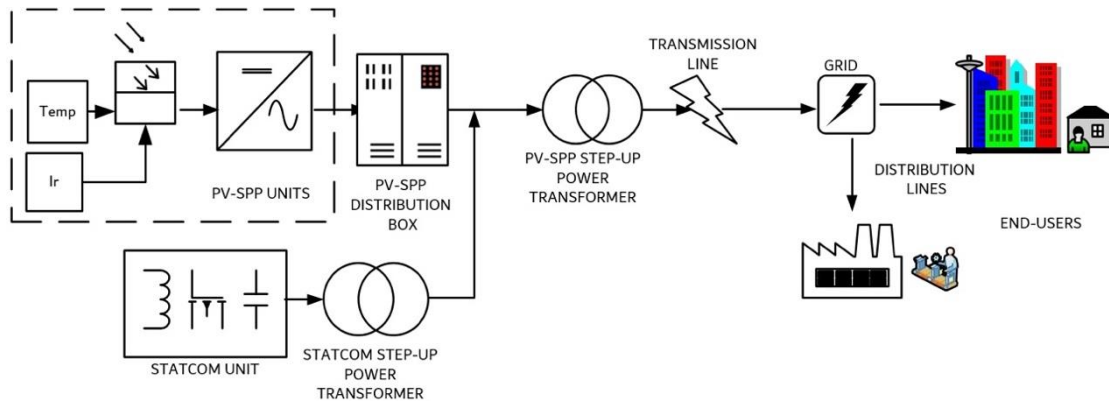


Figure 4. Single-line diagram of optimised PV-SPP

2.2. Mathematical Model

The phase angle between current and voltage in the RPC process is also reduced, reducing total apparent power. Vector diagrams of this process can be seen in figure 5.

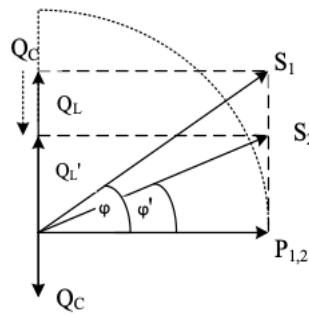


Figure 5. AC Powers vector diagram pre & post RPC

Parameter values in Figure 5 are calculated with the equations given below;

$$S_1 = \sqrt{(P_1^2 + Q_L^2)} \tag{1}$$

$$S_2 = \sqrt{(P_2^2 + Q_{L'}^2)} \tag{2}$$

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot u \cdot i \cdot \cos \varphi \tag{3}$$

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot u \cdot i' \cdot \cos \varphi' \tag{4}$$

$$Q_C = P_{1,2} \cdot (\text{tg } \varphi - \text{tg } \varphi') \tag{5}$$

The meanings of the symbols in the formulas are as follows; P_1, P_2 ; Active power post-and-pre-RPC, ΔQ_C ; Capacitor capacity for compensation process, $Q_L, Q_{L'}$; reactive power without and with RPC, S_1, S_2 ; apparent power without and with RPC, $i - i'$; current post-and-pre-RPC, $\varphi - \varphi'$; phase angle post-and-pre-RPC, u ; system voltage (Kalay et al., 2021).

The phase difference between the busbar voltage and the converter's output voltage. It is written as Where V_0 is the busbar voltage, V is the converter's output voltage, X is the link transformer's voltage, leakage reactance, and δ is the connected state of STATCOM (Çöteli, 2007) (Figure 6). δ is the angle of V concerning V_0 . Since δ is very small, if we set $\delta=0$, if V_0 is higher than V , Q flows from V_0 to V (i.e., STATCOM absorbs reactive power). Conversely, if V_0 is lower than V , Q flows from V to V_0 (i.e., STATCOM is generating reactive power), (Wen-Hao et al., 2010).

$$P = \frac{V \cdot V_0}{X} \sin \delta \tag{5}$$

$$Q = \frac{V_0}{X} (V_0 - V \cdot \cos \delta) \tag{6}$$

$$P = 0; \quad Q = V_0 \frac{V_0 - V}{X} \tag{7}$$

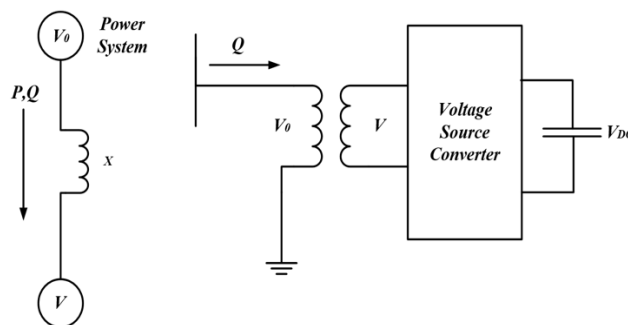


Figure 6. Operating Principle of the STATCOM.

3. Simulation Results

This section analyses the performance parameters obtained before and after the STATCOM simulation. First, the characteristic curves of the PV power system, which are essential to analyse the system as an energy source, are obtained. Performance simulations were carried out in two different situations for the PV-SPP, each sub-array consisting of 22 series-connected PV panels with 12 parallel strings. At first, current and power values are under three different radiation values. Accordingly, 1 kW/m² value PV-SPP produces the highest power and current values. The data and graphics of this analysis are given in Figures 7-a, b and Table 4.

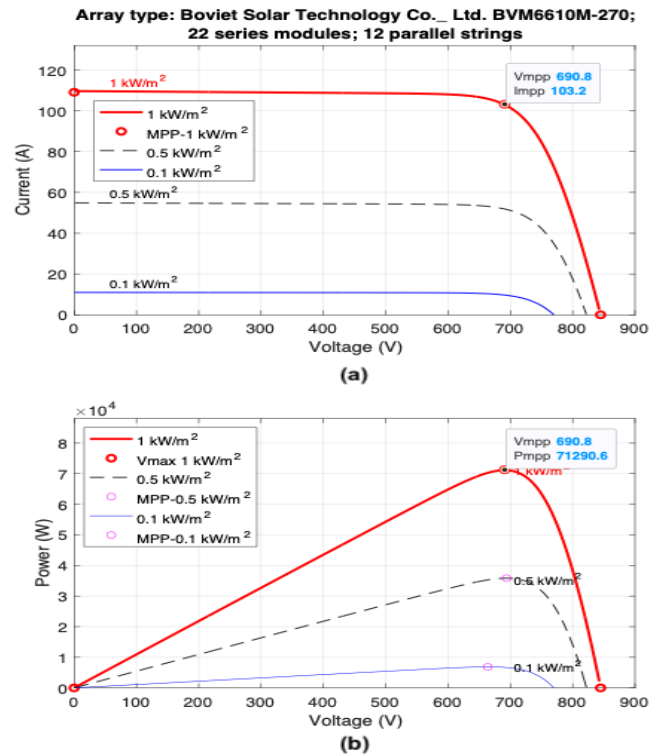


Figure 7. Current-voltage (a), power-voltage(b) graphs under different irradiance condition

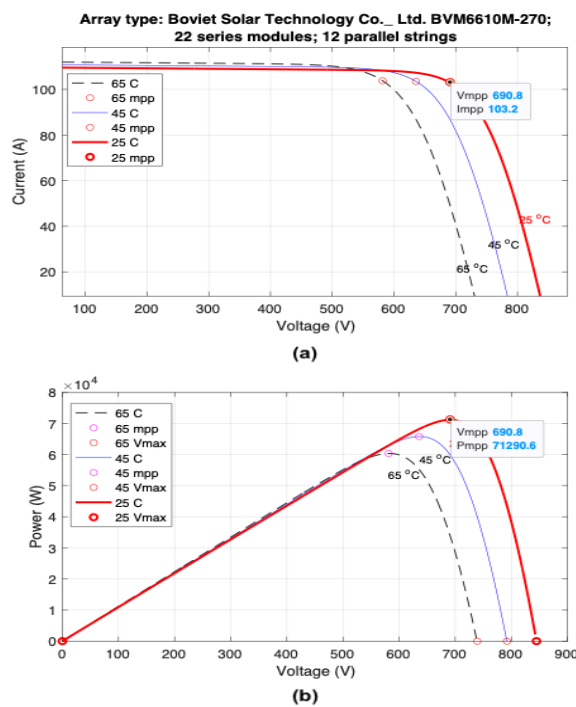


Figure 8. Current-voltage (a) power-voltage (b) graphs under different temperature conditions

This time, the exact process was carried out in varying temperature conditions. Figures 8-a, b and Table 4 show performance graphics and value outputs for different operating temperatures. According to this simulation result, with its 25 °C operational performance, PV-SPP strings produce the most effective operating current, voltage and power.

The optimisation realised in the system is concretely demonstrated. The current, voltage, active and reactive power characteristics that emerge from transferring the system to the load are handled before and after the STATCOM process. For example, although the AC voltage transferred from the system experienced some distortions (harmonics, flickers, etc.) during its transfer to the load, it turned into a voltage characteristic with a smoother waveform after STATCOM (Figure 9,10). After the voltage analysis, the PV-SPP transfers the current under load supply conditions; likewise, analysed under STATCOM pre-and post-conditions. The distortions in the current waveform are transformed to the approximated pure-sine format when post-STATCOM. This situation is seen in Figures 11 and 12. As a result of the RPC process, another function of the application, reactive power control, was also carried out. As shown in Table 4 and the current-carrying capacity has been increased with STATCOM applied to the PV-SPP output at operating conditions of 1 kW/m² and 25 °C, which are the most effective systems input parameters. As a result of RPC, the active power obtained at the output did not change, but a decrease was achieved in the reactive power and total load current (Figure 13). In addition, the current and voltage values, whose waveforms are given in Figures 9-12, were obtained through scopes connected to the PV-SPP step-up transformer output seen in Figure 3.

Table 4. Performance Results for PV String under different conditions.

Temperature (Irradiance 1 kW/m²)	Voltage V	Current A	Power kW
65 °C	581,455	103,811	60,362
45 °C	635,68	103,515	65,802
25 °C	690,8	103,2	71,291
Irradiance (Temperature 25 °C)	Voltage V	Current A	Power kW
1 kW/m ²	690,8	103,2	71,291
0,5 kW/m ²	693,828	51,08	35,844
0,1 kW/m ²	663,551	9,433	0,687

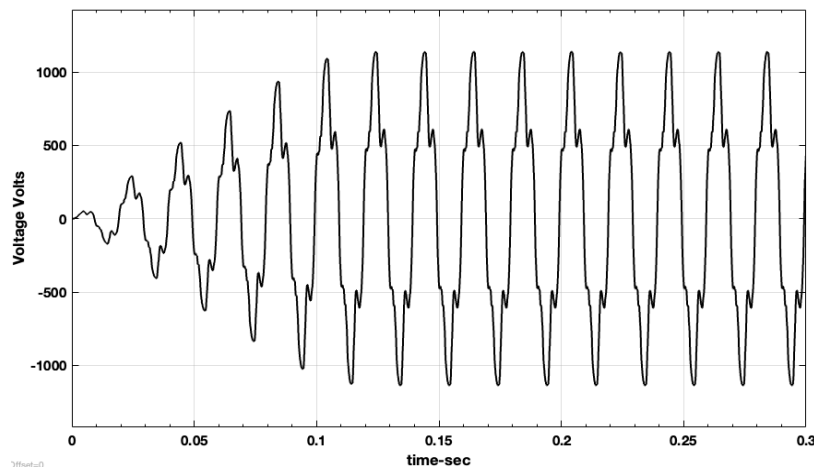


Figure 9. Pre-STATCOM system voltage waveform and values

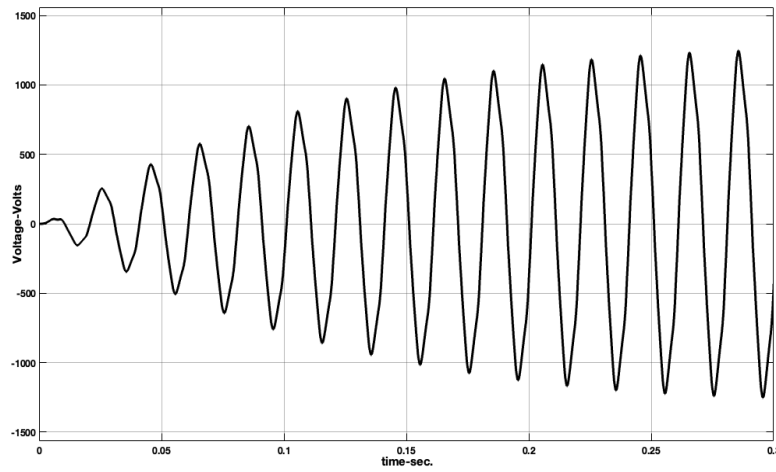


Figure 10. After STATCOM system voltage waveform

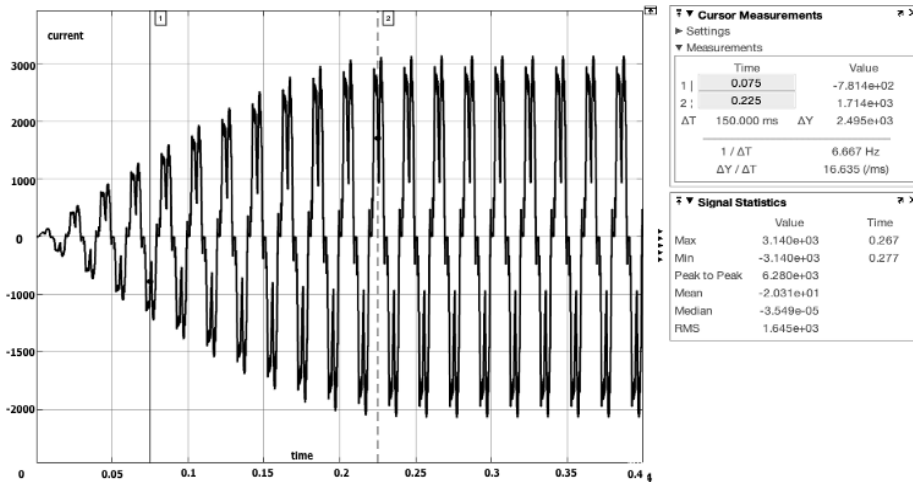


Figure 11. Pre-STATCOM system current waveform

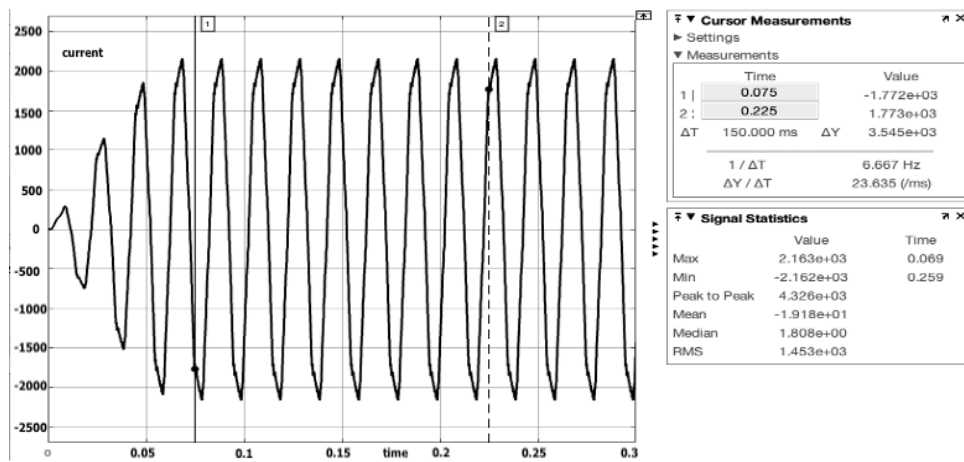


Figure 12. Post-STATCOM system current waveform

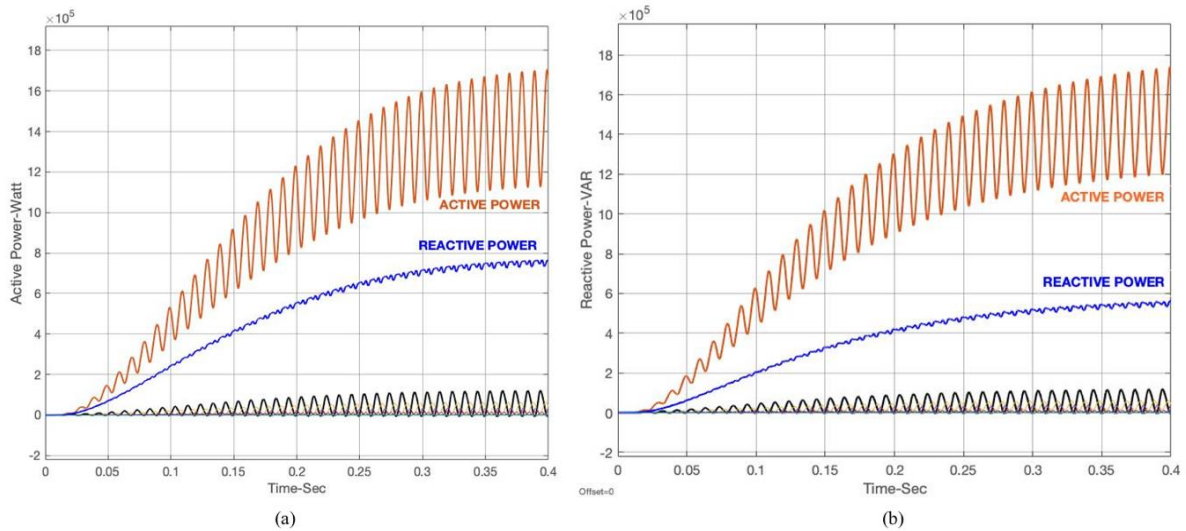


Figure 13. Active/ reactive power waveform (a) without and (b) with STATCOM

As a result of the Simulink simulation, the reactive power, active power and load current values of the system before and after the STATCOM application are given in Table-5.

Table 5. Simulation results values pre/post STATCOM

	Reactive Power-kVAR	Current-kA	Active Power-MW
Pre-STATCOM	782,45	1,645	1,125
Post-STATCOM	594,32	1,453	1,117

4. Result and Discussion

With the use of energy and the gradual decrease in energy reserves of traditional energy sources, renewable energy sources centred energy production has increased. Recent developments and the gaining of a more complex character of most users' load profiles reveal the necessity of improving the quality of the energy produced and transferred to the consumers. In this respect, the STATCOM application, also discussed in this study, significantly increases the power quality of the energy obtained from power systems. From the point reached with the survey, improvements and improvements have been achieved in the parameters that determine the power quality of the energy obtained from the power system. For example, if values such as current and voltage are transferred to loads and networks that cause possible harmonic and distortion, distortions in waveforms are reduced by STATCOM. RPC application provided a correction in the power coefficient and a decrease in the reactive power value. In addition to the improvement in the load current waveform, its value has also been reduced. In this way, an increase in the current-carrying capacity of the system was obtained, although the active power value did not change. The result is continuously regulating voltage and current on the transmission line, much more significant amounts of real power, preventing under-voltage or loss of power. This situation can be seen analytically, especially in Figures 10,12 and 13. 11,671% decrease in system current and a 24,043% decrease in system reactive power increased total system efficiency. The numerical data of this can be seen in Table 5.

Harmonic analyses of the output waveforms can be performed by expanding the study further, thus obtaining more mathematical expressions of the optimisation. Real-time operating parameter values of the plant can be added to the study. The manufactured sub-unit of the modelled STATCOM can be added to the power system, and the experimental content can be added to the survey.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Tobnaghi D.M., 2016, A Review on impacts of Grid-connected PV system on Distribution Networks. *International Journal of Electrical and Computer Engineering* 10(1): 137-152.
- Priyadarshi N., Anand A., Sharma A., Azam F., Singh V., Sinha R., 2017, "An experimental implementation and testing of GA based maximum power point tracking for PV system under varying ambient conditions using dSPACE DS 1104 controller." *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)* 7.1, pp. 255-265.
- Nishioka K., Hatayama T., Uraoka Y., Fuyuki T., Hagihara R., Watanabe M., 2003, Field-test analysis of PV system output characteristics focusing on module temperature. *Solar Energy Materials and Solar Cells*; 75(3-4): 665-671.
- Kameda M., Sakai S., Isomura M., Sayama K., Hishikawa Y., Matsumi S., Haku H., Wakisaka K., Tanaka M., Kiyama S., Tsuda S., Nakano S., 1996, "Efficiency evaluation of a-Si and c-Si solar cells for outdoor use," Conference Record of the Twenty-Fifth IEEE Photovoltaic Specialists Conference-pp. 1049-1052. DOI: 10.1109/PVSC.1996.564310.
- Sewang Y. and Garboushian V., 1994; Reduced temperature dependence of high-concentration photovoltaic solar cell open-circuit voltage (Voc) at high concentration levels. In: Proceedings of 1994 IEEE 1st World Conference on Photovoltaic Energy Conversion - WCPEC (A Joint Conference of PVSC, PVSEC and PSEC); IEEE: pp.1500-1504.
- Hishikawa Y., Okamoto S., 1994, Dependence of the I-V characteristics of amorphous silicon solar cells on illumination intensity and temperature Sol. Energy Sol. Cells, 33: 157-168.
- İşen, E. & Koçhan, Ö. (2021). ENERGY MANAGEMENT FOR PV/BATTERY STANDALONE PHOTOVOLTAIC SYSTEM. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9 (2) , 414-424 . DOI: 10.21923/jesd.904233
- Güner, S. & Yazıcı, S. (2022). BİR GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMİNİN DAĞITIM SİSTEMİ GÜVENİLİRLİĞİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10 (2) , 538-549. DOI: 10.21923/jesd.1012690
- Guo K., Cui L., Mao M., Zhou L., Zhang Q., An Improved Gray Wolf Optimizer MPPT Algorithm for PV System with BFBIC Converter Under Partial Shading. *IEEE Access* 2020; 8: 103476-103490. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2999311.
- Dixon J., Moran L., Rodriguez J., Domke R., Reactive Power Compensation Technologies: State-of-the-Art Review. *In Proceedings of the IEEE* 2005; 93(12): 2144-2164. doi:10.1109/JPROC.2005.859937.
- Wanner R., Mathys and M. Hausler., 2022, Compensation systems for industry. *Brown Boveri Rev.*; 70: 330-340.
- Bonnard G., 1985, The problems posed by the electrical power supply to industrial installations., *Proc. IEE Part B*; 132: 335-340.
- Kalay A, Ulgen K, Ağçal A., 2021, Reactive Power Compensation Based Optimisation of Micro-Scale Stand-Alone Photovoltaic Systems. *Muğla Journal of Science and Technology*; 7(1): 25-35. DOI: 10.22531/muglajsci.824451
- Kalay A., 2021, Optimisation of a Stand-Alone PV System Feeding a 1 kW Value Asynchronous Motor by Digital Compensation Way, PhD Thesis, Ege University, İzmir, Turkey.
- Qingguang Y., Pei L., Wenhua L., Xiaorong X., 2004, Overview of STATCOM technologies. *IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies. Proceedings*; 2004: IEEE, pp.647-652.
- Montoya, F. G. (2019). Geometric algebra in nonsinusoidal power systems: a case of study for passive compensation. *Symmetry*, 11(10), 1287.
- Liu, M., Dassios, I., Tzounas, G., & Milano, F. (2020). Model-independent derivative control delay compensation methods for power systems. *Energies*, 13(2), 342.
- Osman, A. H., & Malik, O. P. (2004). Protection of parallel transmission lines using wavelet transform. *IEEE Transactions on power delivery*, 19(1), 49-55.
- Çöteli R., Aydoğmuş Z., 2007, DGM-Statcom ile Reaktif Güç Kompanzasyonu. *Politeknik Dergisi*; 10(2): 123-128.
- Wen-Hao Z., Lee SJ., Choi MS., 2010, Setting considerations of distance relay for a transmission line with STATCOM. *Journal of Electrical Engineering and Technology*; 5(4): 522-529.



SIVILAŞMA KAYNAKLI OTURMALARIN AZALTILMASINDA ÜST DOLGU TABAKASININ ETKİSİ: BİR VAKA ANALİZİ

Merve AKBAŞ^{1*}, Ozan SUBAŞI², Zeynep KAYGUSUZ³, Recep İYİSAN¹

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye
² Türk Alman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye
³ Temeltaş Teknik Yapı A.Ş., İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Sıvılaşma,
Oturma,
PM4Sand,
Ishihara Kriteri,
İyileştirme.*

Öz

Zemin tabakalarının cinsi, geoteknik özellikleri ve dinamik davranışı ile deprem özelliklerine bağlı olarak meydana gelen sıvılaşma, depremler sırasında mühendislik yapıların davranışı üzerinde olumsuz etkilere yol açabilecek zemin kaynaklı başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Sıvılaşma kaynaklı oturmalar doğruyu yansıtacak şekilde öngörülmesi ve gerekmesi durumunda yapılan mühendislik çalışmaları ile ekonomik ve kontrol edilebilir olduğu kanıtlanabilen uygun bir iyileştirme yöntemi seçilerek önlem alınmalıdır. Bu çalışmada, sıvılaşma potansiyeli olan bir sahada meydana gelecek sıvılaşma kaynaklı oturmaları sınırlandırmak amacıyla Ishihara kriteri dikkate alınarak sıvılaşan tabaka üzerine belirli kalınlıkta bir mühendislik dolgu tabaka inşası önerilmiş ve iyileştirme sonrası sıvılaşma kaynaklı oturmalarda meydana gelen değişimler kum zemin tabakalarının dinamik davranışının PM4Sand Bünye Modeli ile tamamlandığı sayısal analizler ile incelenmiştir. Ayrıca iyileştirme öncesi sıvılaşma kaynaklı meydana gelecek oturma değerleri farklı yarı-ampirik bağıntılar ile de hesaplanmış ve sayısal analiz sonuçları ile karşılaştırılarak en uygun yarı-ampirik bağıntı belirlenmiştir. Yapılan çalışmanın yaygın olarak kullanılan iyileştirme yöntemlerine bir alternatif olacağı ve sıvılaşan tabaka üzerine sıvılaşmayan tabaka inşası ile zemin iyileştirmesinin maliyet etkin tasarımı için örnek bir mühendislik uygulama sağlayabileceği düşünülmektedir.

THE EFFECT OF TOP FILLING LAYER ON REDUCTION OF LIQUEFACTION-INDUCED SETTLEMENT: A CASE STUDY

Keywords

*Liquefaction,
Settlement,
PM4Sand,
Ishihara Criterion,
Improvement.*

Abstract

The type of soil layers, their geotechnical properties, dynamic behavior, and liquefaction occurs due to earthquake characteristics are among the main soil-related factors that may have negative effects on the behavior of engineering structures during earthquakes. Liquefaction-induced settlements should be predicted to reflect the truth, and an appropriate improvement method that can be proven to be economical and controllable with engineering studies should be selected and measures should be taken. In this study to limit the liquefaction-induced settlements, it is proposed to construct an engineering fill layer of a certain thickness on the liquefied layer, considering the Ishihara criterion, and the changes in the liquefaction-induced settlements after the improvement were investigated by numerical analysis in which the dynamic behavior of the sand soil layers was completed with the PM4Sand Constituent Model. In addition, liquefaction-induced settlements before the improvement were also calculated with different semi-empirical relations and compared with the numerical analysis results, the most appropriate semi-empirical correlation was determined. It is thought that the study will be an alternative to the commonly used improvement methods and can provide an exemplary engineering practice for the cost-effective design of soil improvement with the construction of a non-liquefied layer on the liquefied layer.

* İlgili yazar / Corresponding author: akbasm@itu.edu.tr, +90-539-575-82-26

Alıntı / Cite

Akbas, A., Subaşı, O., Kaygusuz, Z., İyisan, R., (2023). Sıvılaşma Kaynaklı Oturmaların Azaltılmasında Üst Dolgu Tabakasının Etkisi: Bir Vaka Analizi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(1), 126-144.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Akbaş, 0000-0001-8466-2463
O. Subaşı, 0000-0001-6931-0590
Z. Kaygusuz, 0000-0002-2571-2309
R. İyisan, 0000-0002-0887-9983

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 13.09.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date 25.10.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date 27.10.2022
Yayın Tarihi / Published Date 27.03.2023

The Effect of Top Filling Layer on Reduction of Liquefaction-Induced Settlement: A Case Study

Merve AKBAŞ^{1†}, Ozan SUBAŞI², Zeynep KAYGUSUZ³, Recep İYİSAN¹

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Türk Alman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

³ Temeltaş Teknik Yapı A.Ş., İstanbul, Türkiye

Highlights

- Analysis of liquefaction potential and liquefaction induced settlements by numerical methods
- Examination of liquefaction potential and liquefaction-induced settlements by semi-empirical methods
- Application of soil improvement with fill without liquefaction potential

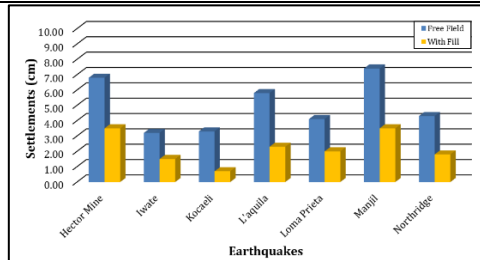
Graphical Abstract

Figure. Liquefaction-induced settlements before and after fill construction

Purpose and Scope

The liquefaction potential was determined according to the Turkish Building Earthquake Code (TBDY), which entered into force in our country in 2019, by using the data obtained from borings, field and laboratory test results in the settlement area of an industrial building planned to be built within the borders of Bursa province.

Design/methodology/approach

The analysis based on the SPT results shows that it is not sufficient to determine only the factor of safety against liquefaction and that liquefaction-induced settlements may also cause structural damage. For this purpose, an engineering fill layer with an average thickness of 3.0 m was proposed on the ground surface. The suitability of the proposed method was investigated by numerical analyses performed with PM4Sand Constitutive Model under strong ground motions with different acceleration and frequency content.

Findings

This study proposes the construction of a non-liquefiable fill layer of appropriate thickness on the ground surface in order to reduce the settlement values that may occur in soils with liquefaction potential when subjected to earthquake loads. It was determined that the settlement values decreased by 44~73% depending on the earthquake acceleration and that the pore water pressure ratio and liquefaction-induced settlements remained within the allowable limits even in earthquakes with high acceleration.

Research limitations/implications

[†] Corresponding author: akbasm@itu.edu.tr, +90-539-575-82-26

The results obtained are valid for the thickness and characteristics of the fill layer determined by the design earthquake depending on the geotechnical properties and geographic location of the site. Accordingly, it is clear that the appropriate fill layer thickness should be determined by using the parameters obtained from field and laboratory studies at sites located in different geographical locations.

Practical implications

It is considered that the study will be an alternative to the commonly used remediation methods and may provide an example of engineering practice for the cost-effective design of ground improvement by constructing a non-liquefiable embankment layer over the liquefied layer.

Originality

The construction of an engineering fill and its behaviour against liquefaction are investigated by both numerical and semi-empirical methods and it is presented that the fill can be an alternative soil improvement method to reduce liquefaction induced settlements.

1. Giriş (Introduction)

Dünya üzerinde meydana gelen depremler yerel zemin koşulları, deprem kaynak özellikleri ve üstyapı performans özelliklerine bağlı olarak mühendislik yapılarında ciddi hasarlara neden olmaktadır. Deprem kaynak ve üst yapı özelliklerinin etkisi uzunca bir süredir bilinse de zemin mekaniği alanında yapılan çalışmaların son yüzyılda gelişme göstermesi nedeniyle zemin tabakalarının dinamik davranışı ve geoteknik özelliklerinin, depremin neden olduğu hasarın büyüklüğüne ve dağılımına olan etkisi yakın geçmişte anlaşılmaya başlanmıştır (Demiroz ve Yıldız, 2021; Pribadi vd., 2021). İnşaat mühendisliği yapılarında oluşan hasarlar ve bu hasarların bölge içindeki dağılımları incelendiğinde, büyük bir çoğunluğunda yerel zemin koşullarına bağlı bir etki söz konusu olup, kuvvetli yer hareket sırasında boşluk suyu basıncının artması ve buna bağlı olarak efektif gerilmenin azalması ile zeminin mukavemetini yitirmesi olarak tanımlanan zemin sıvılaşmasının önemli can ve ekonomik kayıplara neden olduğu anlaşılmaktadır (Theodoulidis vd., 2014; Álamo vd., 2022). Aktif bir deprem kuşağı içerisinde yer alan ülkemizde de geçmiş yıllarda meydana gelen depremlerde mühendislik yapılarında ciddi hasarlar oluşmuştur. Bu nedenle sıvılaşmaya duyarlı bir sahada sıvılaşma tehlikesinin azaltılması, bu tür yerlerde yapıların planlanması ve inşası inşaat mühendisleri açısından önemli bir görevdir (Tosun, 2015; Dogan vd., 2021; Gurbuz vd., 2022).

Sıvılaşma olayı depremler esnasında aşırı boşluk suyu basıncının artması sonucunda önemli oturmalara, çok az eğimli arazilerde bile yanal yayılmalar ve akma gibi şekil değiştirmelere ve göçmelere neden olabilmektedir (Holzer ve Youd, 2007; Carey vd., 2017). Sıvılaşma nedeniyle meydana gelebilecek hasarları azaltmak için, zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin ve neden olabileceği deformasyonların doğru bir şekilde hesaplanması ve üstyapı tasarımında değerlendirilmesi gerekmektedir. Sıvılaşma kaynaklı oturmaların tahmin edilebilmesi için geoteknik deprem mühendisliğinde kullanılan birçok numerik ve ampirik yöntem mevcuttur. Ampirik yaklaşımlarda, laboratuvar deneyleri ve arazi incelemelerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda önerilen korelasyonlar kullanılırken, numerik yöntemlerde matematiksel modellerle ifade edilen sıvılaşma davranışı genellikle sonlu elemanlar veya sonlu farklar metotları kullanılarak analiz edilmektedir (Zhang vd., 2004; Gong vd., 2016; Subasi vd., 2021). Ampirik yöntemlerde laboratuvar ve arazi çalışmaları birlikte değerlendirilerek sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı ve tekrarlı gerilme oranı (CSR) ile SPT-N sayıları arasındaki ilişkilere dayanan grafiksel çözümler önerilirken, numerik yöntemlerde genellikle, arazi şartları ile benzer zemin kesitleri oluşturularak tabakaların doğrusal olmayan dinamik davranışının ve pekleşmesinin göz önüne alındığı bünye denklemleri ile analizler gerçekleştirilmektedir (Hanna vd., 2008; Huang vd., 2008; Cetin vd., 2018). Günümüze kadar gelen süreçte sıvılaşma davranışını modellemek için önerilen ve temeli laboratuvar deney sonuçları ve bu sonuçlardan elde edilen korelasyonlara dayanan tek boyutlu dinamik analiz yöntemlerinin, yarı sonsuz, homojen doğrusal elastik kabul edilen malzemeler için frekans tanım aralığında uygulanmasının yeterli olduğu düşünülse de zaman içerisinde, yapılan tek boyutlu dinamik analizlerin yetersizliği gözlenmiştir (Tolon, 2013). Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte, zemin mekaniği ve geoteknik deprem mühendisliği alanında arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek oluşturulan zemin kesitleri, kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılarak yapılan analizler yardımıyla zemin dinamik davranışı anlaşılmaya çalışılmış ve zeminlerin doğrusal olmayan (nonlinear) davranışının zaman tanım alanında çalışan iki ve üç boyutlu dinamik analizlerle modellenmesinin gerçeği daha iyi yansıttığı belirtilmiştir. Böylece depremin etkilediği sahada zeminden mühendislik yapısına gelen etkiler ve zemin yüzeyinde meydana gelebilecek deplasmanlar gerçeğe daha yakın bir şekilde öngörülebilmektedir (Hashash vd., 2010).

Sıvılaşma potansiyeline sahip bir zeminde meydana gelebilecek sismik oturmalarından kaynaklanabilecek problemlere karşı yapının inşasından önce gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Gevşek suya doygun siltli kumlu zeminlerin sıvılaşma potansiyeli olduğu göz önüne alınarak titreşim ya da deplasman yoluyla sıkıştırılması

veya bağlayıcı bir katkı malzemesinin zemin ile karıştırılarak zeminin taşlaşdırılması en çok tercih edilen zemin iyileştirme yöntemleri arasındadır (Moayed ve Naeini, 2012; Haung ve Wen, 2015). Fakat sıvılaştırma potansiyeline sahip zemin tabakasının derinliği ve zemin iyileştirmesi yapılacak sahanın yüzölçümü arttıkça bu yöntemlerin ekonomiklik ve imalat kalite güvenliği bakımından uygulanabilirliğinde sakıncalar ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca sıvılaştırma riskine karşı alınan önlemler kapsamında uygulanacak iyileştirme yöntemlerinin seçilmesi ve uygulama kriterlerinin doğru bir şekilde belirlenmesi sahada uygulamanın doğru olarak yapılmasında büyük önem taşımaktadır. Şimdiye kadar elde edilen bulgulardan sıvılaştırmanın zeminin yaklaşık ilk 20 m derinlik içinde meydana geldiği ve çeşitli kriterlere göre sıvılaştırılabilir olduğu belirlenen zeminlerin bulunduğu kesitlerin bazılarında yapı hasarı gözlenirken bazılarında gözlenmediği tespit edilmiştir (Nicholson, 2014; Patel, 2019). Ishihara Kriteri olarak adlandırılan yaklaşımda sıvılaştırılabilir tabakalar üzerinde yeterli kalınlıkta sıvılaştırmayan bir tabakanın bulunması durumunda, alttaki zeminlerde sıvılaştırma oluşsa dahi üst yapıda herhangi bir hasara neden olmayacağı öngörülmektedir. Kısacası bu yöntem ile sıvılaştırılabilir tabakanın üzerinde sıvılaştırmayı önleyecek ve yeterli düzeyde efektif gerilme sağlayacak kalınlıkta bir tabakanın bulunup bulunmadığı denetlenmektedir (Ishihara, 1985).

Bu çalışmada Bursa ili sınırları içinde yapılması planlanan ve yaklaşık 150 dönüm alana yayılan bir sanayi yapısının yerleşim sahasında yapılan sondajlar, arazi ve laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak 2019 yılında ülkemizde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY) göre sıvılaştırma potansiyeli belirlenmiştir. Yapı güvenliği ve kullanılabilirliği açısından büyük bir önem teşkil eden sıvılaştırma nedeniyle meydana gelebilecek oturmalar ise ilk olarak ampirik yaklaşımlar ile belirlenmiştir. Ayrıca, sıvılaştırılabilir kum zemin tabakalarının dinamik davranışını ampirik yöntemlere kıyasla daha gerçekçi bir şekilde modellemek için, gerilme oranı kontrollü, kritik durum teorisi ile uyumlu ve iki boyutlu plastisite teorisine dayanan bünye denklemlerinden oluşan PM4Sand Bünye Modeli kullanılarak oluşturulan iki boyutlu zemin modeli üzerinde sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar analizlerinde, kuvvetli yer hareketi etkisi altında zemin kesitinde zamana bağlı olarak meydana gelen değişimler, sıvılaştırma davranışı ve deformasyonlar, plastik hacimsel şekil değiştirmelerle ilişkilendirilerek elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Daha sonra ise elde edilen sonuçlar değerlendirilerek geniş bir alana yayılı sahanın uygun ve ekonomik bir yöntemle iyileştirmesi amacıyla Ishihara Kriterleri dikkate alınarak yapı temellerinin altına tüm sahayı kapsayacak şekilde ortalama kalınlığı 2.5 m olan bir mühendislik dolgusu imalatı önerilmiştir. İyileştirme sonrası oluşabilecek oturmaların izin verilen sınırlar içerisinde kalıp kalmadığını belirlemeyebilmek için PM4Sand Bünye Modeli ile gerçekleştirilen numerik analizler tekrarlanmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Kuvvetli yer hareketi sırasında suya doymuş gevşek kumlu zemin tabakalarında, boşluk suyu basıncındaki ani artış nedeniyle meydana gelen sıvılaştırma olayı, zemin tabakalarında büyük deformasyonlara yol açmakta ve mühendislik yapılarında ciddi hasarlara neden olmaktadır. 1964 yılında Alaska'da Good Friday ve aynı yıl Japonya'da meydana gelen Niigata depremleri ile başlayan ve yakın zamanda 1999 Kocaeli, 2010, 2011 yıllarında Canterbury ve 2011, 2016'da Christchurch Depremleri sonucunda köprü ve yapı temellerinde meydana gelen büyük oturmalar sıvılaştırma ve sıvılaştırma kaynaklı hasarların incelenmesi gerektiğini gözler önüne koymuştur (Makdisi, 2021).

Kuvvetli yer hareketi sırasında suya doymuş zeminlerde gözlemlenen sıvılaştırma davranışının sayısal modellenmesi geoteknik deprem mühendisliğinin önemli araştırma konularından biridir. Zemin mekaniğinde sayısal modellemeler için toplam ve efektif gerilme olmak üzere iki yaklaşım kullanılmaktadır. Efektif gerilme yaklaşımı ise bütünlük ve bütünlük olmayan olmak üzere iki farklı çözüm yöntemine ayrılmaktadır (Ye vd., 2007; Wang vd., 2018). Bütünlük olmayan çözümde zemin-su etkileşimi ihmal edilerek, boşluk suyu basıncı ayrı bir gözenek basıncı modeli ile ayrı olarak hesaplanır. Çözüm belirli bir değere kadar iterasyon uygulanarak elde edilir. Bütünlük çözüm yönteminde ise boşluk suyu basıncı zemin iskeleti deformasyonuna bağlı olarak eş zamanlı olarak hesaplanmaktadır. Bütünlük çözüm yöntemlerinde diğerlerine göre zemin su etkileşimi daha gerçekçi bir şekilde modellenmektedir (Taiebat vd., 2007; Ntritsos ve Cubrinovski, 2020). Suya doymuş zeminlerin mekanik davranışı zemin iskeleti ile boşluklarda yer alan suyun etkileşimine dayanmaktadır. Dinamik yükleme sırasında bu etkileşimin etkisi daha belirgin bir şekilde görülmekte ve bunun sonucunda zemin tabakalarında meydana gelen sıvılaştırmalar nedeniyle rijitlik kayıpları ve oturmalar gözlenmektedir. Bu nedenle sıvılaştırma veya çevrimsel mobilite gibi karmaşık davranışları doğru bir şekilde modellemek için analizlerin bütünlük yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmesi önerilmektedir (Zhang ve Wang, 2012; Manzari vd., 2014; Chiaradonna, 2022).

Günümüze kadar gelen süreçte sıvılaştırma davranışını modellemek için önerilen bünye modellerinin temeli laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen korelasyonlara dayanmaktadır. Ishihara ve diğ., (1975) yılında yaptığı çalışmalar sonucunda efektif gerilme izi ile artık boşluk suyu basıncı arasındaki ilişkiyi ortaya koymuşlardır. Aynı tarihlerde Seed ve diğ., (1975) laboratuvarında yükleme çevrim sayısı ile artık boşluk suyu basıncı arasındaki ilişkiyi

inceleyerek kumlu zeminlerin sıvılaşma esnasındaki davranışını belirlemeye çalışmışlardır. Tokimatsu ve Yoshimini, (1983) yılında yaptıkları çalışmalarla zeminlerde genleşme nedeniyle oluşan hacimsel şekil değiştirme ile yüklenme çevrim sayısı arasındaki ilişkiyi incelemiştir. İlerleyen yıllarda da pek çok laboratuvar çalışması gerçekleştirilerek sıvılaşma davranışının mekanizması ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır (Tokimatsu ve Seed, 1984; Tokimatsu vd., 2019; Kumar vd., 2020). Bu çalışmalara ek olarak zeminin doğrusal olmayan dinamik davranışı ilk olarak CHARSOIL ile modellenmiştir (Streeter vd., 1974). Bu model zemin davranışını tek boyutta lineer veya nonlinear olarak hesaplayabilmektedir. İlerleyen yıllarda çeşitli programların geliştirilmesiyle sıvılaşma sırasında zeminde meydana gelen artık boşluk suyu basıncının oluşumu ve sönümlenmesi davranışı anlaşılma çalışılmış ve birçok araştırmacı tarafından çeşitli yazılımlar ve bünye modelleri geliştirilmiştir (Chen vd., 2021; Das ve Chakraborty, 2022). Son yıllarda ortaya çıkan ve sıvılaşma davranışının modellenmesinde kullanılan UBC3D-PLM, PDMY02 ve PM4Sand bünye denklemlerinin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Dafalias ve Manzari, 2004; Beaty ve Byrne, 2011; Boulanger ve Ziotopoulou, 2018).

Zemin sıvılaşması ve buna bağlı zemin deformasyonları, deprem durumunda yapılarda önemli bir hasar kaynağı olmuştur. Dünya genelinde sıvılaşmayı azaltmak için çeşitli zemin iyileştirme teknikleri uygulanmaktadır. %20'den fazla ince dane içeriğine sahip siltli kum tabakalarında uygulanacak iyileştirme yöntemlerinde sürşari yüküne sebep olan uygulamalar, temiz gevşek kumlu tabakalara kıyasla daha fazla avantaj sağlamakta ve dolgu gibi yüklemeler sonrası yapılan sıvılaşma analizleri, sıvılaşmaya karşı güvenlik faktöründeki iyileşmeyi doğrulamaktadır (Chafale ve Annam, 2022). Modern deprem şartnameleri sıvılaşma potansiyeline sahip sahalarda uygun bir yöntemle iyileştirme yapılmaksızın sığ temellerin kullanımına izin vermemektedir. Bununla birlikte, saha vaka çalışmaları ile deneysel ve teorik araştırmalardan elde edilen yeterli kanıtlar, sıvılaşma kaynaklı oturumların yeterli boyutlara ve kayma mukavemetine sahip sıvılaşmayan bir doğal veya yapay olarak oluşturulmuş kalınlığı ve genişliği uygun olarak belirlen bir dolgu tabakası ile azaltılabileceğini göstermektedir (Adalier vd., 2003; Dashti vd., 2010; Bray ve Dashti, 2014). Dimitriadi ve diğ., (2018) ise yaptıkları çalışmada sıvılaşmayan tabakanın yapay olarak oluşturulduğu durumda bu tabakanın boyutlarının (kalınlık ve genişlik) sıvılaşma kaynaklı oturmalara ve zemin üzerindeki etkisini elasto-plastik dinamik analizler ile incelemiştir. Sonuç olarak yapay olarak oluşturulan sıvılaşmayan bir dolgu tabakası sayesinde sıvılaşma kaynaklı oturumların azaldığını ve bu yöntemin zemin iyileştirmesinin maliyet etkin tasarımı için yol gösterici olabileceğini belirtmiştir.

Literatürde, bu çalışmaya konu olan Bursa ilinde sıvılaşma konusu üzerine yapılan araştırmalar incelendiğinde; şehir merkezine yakın bir noktada olabilecek büyük ölçekli bir depremde şehrin kuzey-doğu bölgesindeki suya doymuş kumlu zeminlerde sıvılaşma meydana gelebileceği ortaya konmuştur (Başarı vd., 2011). Ayrıca Başarı vd. 2011 tarafından yapılan çalışmada sıvılaşma analizlerinin yanı sıra suya doymuş kumlu zeminlerin deprem sonrası oturma tahminleri de yapılmış ve elde edilen oturma değerlerinin kabul edilen sınırların dışında kaldığı belirlenmiştir. Alver vd. (2021) ise yaptıkları çalışmada Bursa ilinde yapılması planlanan bir konut projesi için arazi zemin modeli oluşturmuş ve TBDY-2018'e göre sıvılaşma analizi gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirilen analizler ile, yapı temelinin oturacağı seviyeden itibaren yaklaşık 5-23 m derinlikleri arasında bulunan orta sıkı kum ile az siltli kum tabakalarının sıvılaşmaya karşı güvenlik sayılarının 1.10 değerinin altında olduğu belirlenmiştir.

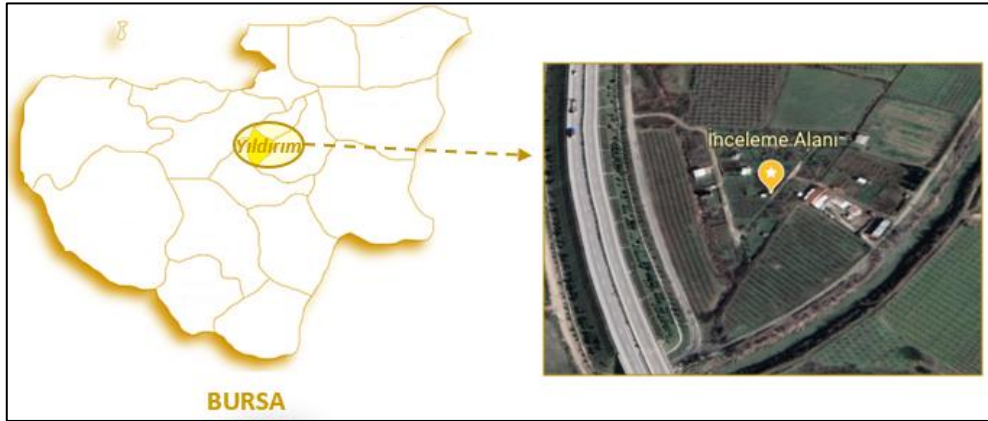
Bu çalışmada literatürdeki diğer çalışmalardan farkı olarak kum tabakasının sıvılaşma davranışı PM4Sand bünye modeli plastik hacimsel şekil değiştirmelerle ilişkilendirilmiş, hacimsel genişleme sırasındaki dilatasyon, Bolton (1986) tarafından önerilen dilatasyon ilişkisi ile uyumlu olarak ele alınmış, gerilme oranı ve zemin yapısına bağlı olarak tanımlanan elastisite modülü kullanılmıştır. Böylece depremin etkilediği sahada zemin tarafından mühendislik yapısına gelen etkiler ve zemin yüzeyinde meydana gelebilecek deplasmanlar gerçeğe daha yakın bir şekilde öngörülebilmiştir. Ayrıca sismik oturumların üstyapıda hasara neden olmasını engellemek amacıyla kullanılan yüksek modüllü kolonlarla doğrudan temel zemini iyileştirmesi veya derin temel sistemi seçimi gibi iyileştirme yöntemlerine alternatif bir uygulama ele alınmış; sıvılaşma potansiyeline sahip geniş bir sahada, uygun dane çapı dağılımına sahip nitelikli malzeme ile teşkil edilen mühendislik dolgusunun kullanıldığı bir uygulamanın sonuçları sunulmuştur.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Uydu görüntüsü Şekil 1'de verilen çalışma sahası hafif eğimli olup nispeten düz bir topografyaya sahiptir. İnceleme konusu sahada sondaja dayalı zemin araştırmaları yapılmış, sondajlar sırasında Standart Penetrasyon Deneyleri (SPT) uygulanmış, numuneler alınmış ve numuneler üzerinde laboratuvarda sınıflandırma ve mukavemet deneyleri yapılmıştır. Ayrıca sahada sismik ölçümler kapsamında farklı doğrultuda çok kanallı yüzey dalgalarının analizi (MASW) çalışmaları, sondaj aralarında Koni Penetrasyon Deneyleri (CPT) ve açılan sondaj kuyularının 7 tanesinde Menard Pressiyometre Deneyleri (MPT) gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen arazi deney verileri kullanılarak sıvılaşma potansiyeli olduğu belirlenen sahada ilk olarak ampirik yaklaşımlar ile sıvılaşma kaynaklı oturmalar hesaplanmıştır. Sonrasında 7 farklı anakaya deprem kaydı ve

PM4Sand Bünye Modeli kullanılarak zemin tabakalarının dinamik davranışı 2 boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek sahada sıvılaşma kaynaklı oturmaların sınırlandırılması amacıyla Ishihara Kriteri dikkate alınarak zemin yüzeyinde imal edilecek mühendislik dolgusunun optimum kalınlığını belirlemek için analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda zemin yüzeyine kalınlığı 2.5 m olan bir mühendislik dolgusu imalatı önerilmiş ve yöntemin uygunluğu aynı deprem yüklemeleri altında incelenmiştir.



Şekil 1. Sahanın uydu görüntüsü (Satellite image of the field)

3.1. Genel Jeoloji Ve Yerel Zemin Koşulları (General Geology And Local Site Conditions)

Genel olarak bakıldığında inceleme alanı Kuvaterner yaşlı, kalınlığı değişken olan alüvyon tabakalardan oluşmaktadır. Kum, çakıl, silt ve kilden oluşan bir birikinti malzemesi olan alüvyon, derenin yatak değiştirmesi ve birikinti şartlarının değişmesi nedeniyle farklı litolojik özellikler göstermektedir. Alüvyon kalınlığı bölgesel olarak genelde 30~50 m arasında değişirken, Bursa ovasının orta ve doğu kesiminde 140-200 m'ye ulaşmaktadır. Ovanın güney kenarındaki dere ağızlarında ise alüvyon ile birlikte iri blok ve çakıllardan oluşan yamaç molozu birikinti konisi bulunmaktadır. Bu birimin altında ise kuzey-güney yönünde bir şerit halinde uzanan, çakıltaşı ile başlayan ve bunun üzerinde kumtaşı, marn ve kiltası ardalanmalı Neojen dönemine ait kalın bir kil tabakası yer almaktadır.

Bursa ve çevresi Türkiye'nin en aktif fay kuşaklarından biri olan sağ yönlü, doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay hattının güneybatı kolu üzerinde yer almaktadır. Bursa ve çevresinde şimdiye kadar olan depremler incelendiğinde bölgedeki en yıkıcı depremlerin 28 Şubat 1855 (Geliştirilmiş Mercalli Şiddeti: IX) ile 11 Nisan 1855 (Geliştirilmiş Mercalli Şiddeti: X) tarihlerinde gerçekleşirken; aletsel dönemde ise 29 Ekim 1909 tarihinde Bursa Yenişehir' de yüzey dalgası büyüklüğü M_s cinsinden 5.8, 13 Kasım 1948 ve 15 Nisan 1905 tarihlerinde Bursa Osmangazi ilçesinde yüzey dalgası büyüklüğü M_s cinsinden 5.6 büyüklüklerinde depremler meydana gelmiştir (Doyuran vd., 2000). İlgili sahada batıya doğru bir sıkışma sonucu, kuzey-güney doğrultulu bindirmeler ve doğu-batı doğrultulu normal faylarla kuzey-güney yönünde açılmaya başlamıştır. Batı Anadolu graben sisteminin etkisi altında olan bölgede İzmit Körfezi, İzmit, Gemlik, Yenişehir, Bursa, Manyas ve Saros gibi çok sayıda doğu-batı doğrultulu çöküntü havzaları vardır. Gemlik-Geyve arasındaki 100 km uzunluğa sahip fayın 7.6 büyüklüğünde deprem üretme potansiyeli bulunurken; 50 km uzunluğundaki Uluabat fayının 6.4 büyüklüğünde depremlere, 15 km uzunluğundaki Bursa fayının ise 6.0 büyüklüğünde depremlere neden olabileceği değerlendirilmektedir.

3.1.1. Zemin Kesiti Ve Arazi Deneyleri (Soil Profile And in-Situ tests)

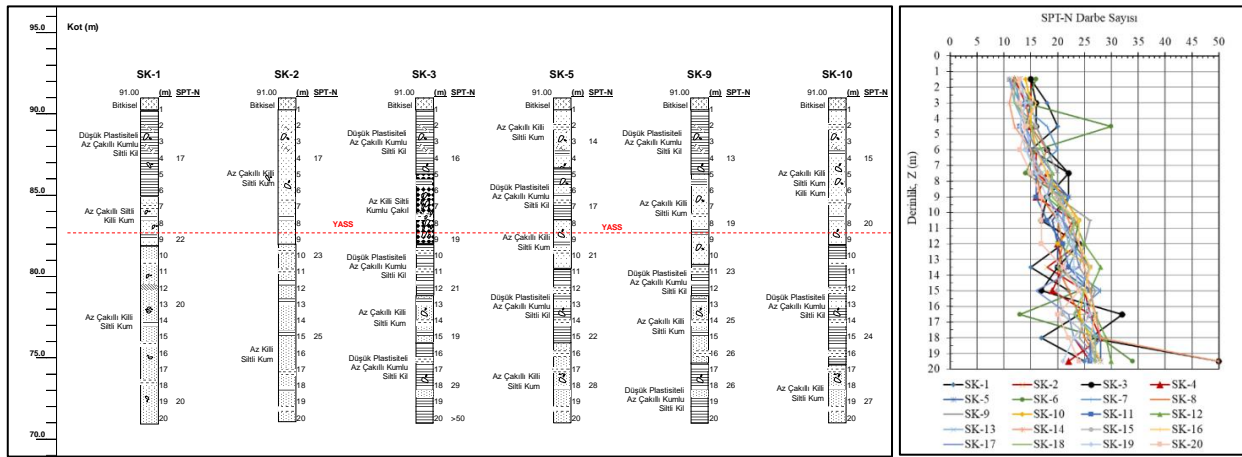
Zemin kesitinde yer alan tabakaların cinslerini, kalınlıklarını ve mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla yerleşimi Şekil 2'de verilen 20 adet zemin araştırma sondajı açılmıştır. Yapılan sondajlardan zemin kesitinin genel olarak bitkisel toprak, çakıllı killi kum ve kumlu kilden oluştuğu belirlenmiştir. Bitkisel örtü altında kahve renkli, çakıl ara bantlı, gevşek-orta sıkı, kötü derecelenmiş siltli kum yer yer ise kahve renkli, çakıl ara bantlı, katı-çok katı kıvamlı, düşük plastisiteli, az çakıllı kumlu siltli kil tabakası yer almaktadır. Sahada açılan sondajlardan yer altı su seviyesinin ortalama 8.0 m derinlikte olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yapılan rezistivite deneylerinden bu derinlik doğrulanmıştır.

Zemin tabakalarının kıvamını ve yerleşim sıklıkları ile penetrasyon dirençlerini belirlemek üzere yapılan penetrasyon deneylerinde dolgu altında yer alan az çakıllı killi siltli kum tabakası içerisinde SPT-N sayıları yüzey ile yaklaşık 10.0 m derinliğe kadar 10~25 arasında değişmektedir. Sondaj logları incelendiğinde artan derinlik ile SPT-N değerlerinin görece artarak 25~35 arasında değerler aldığı ve bazı derinliklerde refü (>50) değerlerine kadar yükseldiği görülmektedir. Sondaj verileri kullanılarak çizilen tipik bir zemin kesiti, SPT-N sayılarının derinlikle değişimi ile birlikte Şekil 3'te verilmiştir.

Zemin kesitinde yer alan tabakaların gerilme-şekil değiştirme özelliklerini yerinde belirlemek amacıyla açılan sondaj kuyularından 7 tanesinde 3~18 m derinlikler arasında Menard Pressiyometre deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde; zeminde göçmeye neden olan yatay basınç olan limit basınç (P_L) belirlenmekte, bu değerden ölçülen başlangıç yatay gerilmesi çıkarılarak net limit basınç (P_L^*) elde edilmekte, gerilme hacim değiştirme grafiklerinden pressiyometre modülü (E_{MPT}) hesaplanmaktadır. Yapılan deneylerden net limit basınç $P_L^* = 710\sim 1410$ kPa olarak elde edilirken pressiyometre modülü ise yaklaşık $E_{MPT} = 8\sim 12$ MPa aralığında hesaplanmıştır.



Şekil 2. Sondaj yerleşim planı (Borehole location plan)



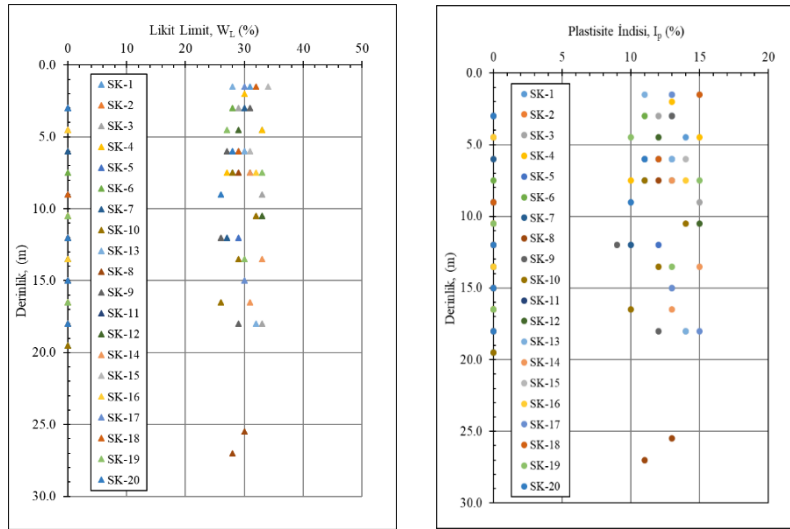
Şekil 3. Sondajlardan elde edilen tipik zemin kesiti ve SPT-N sayılarının derinlikle değişimi
(Typical soil profile based on borehole logs and variation of measured SPT N-values with depth)

Sahada 16 farklı noktada Koni Penetrasyon Deneyi (CPT) yapılmış ve 20~42 m arasında penetrasyon sağlanmıştır. Deneylerde uç direnci (q_t), yüzeyle yaklaşık 10 m derinlik içinde 2~15 MPa arasında iken daha sonra derinlikle görece artış göstermekte ve genel olarak 5~35 MPa arasında değişmektedir. Sürtünme dirençleri ise (F_s) ortalama olarak 0.10 MPa elde edilmiş olup sürtünme oranı $R_f = F_s / q_t$, yaklaşık olarak %0~10 arasında değişmektedir. Zemin kesitinde yer alan tabakaların dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla ise 7 doğrultuda MASW sismik ölçümleri yapılarak alınan kayıtların analizi sonucunda sismik dalga hızları belirlenmiştir. Yapılan ölçüm sonuçlarından, yürürlükte olan deprem yönetmeliğinde tanımlanmış olan üst 30 m derinlik için ortalama kayma dalgası hızı $V_{s30} = 260$ m/s olarak hesaplanmıştır. Sahada yapılmış çalışmalar, penetrasyon deneyleri ve sismik ölçümler beraber değerlendirildiğinde yerel zemin sınıfının ZD (Gevşek kum, çakıl veya yumuşak-katı kil tabakaları) olarak alınması uygun görülmüştür.

3.1.2. Laboratuvar Deneyleri

İnceleme konusu sahada sondajlar sırasında alınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri kapsamında yapılan dane çapı dağılımı analizi sonucunda numunelerin %0~54 çakıl, %25~97 kum ve %1~71 ince daneli malzeme (silt+kil) içerdiği belirlenmiştir. Killi birimlerin likit limiti $w_L = \%26\sim 34$, plastik limiti $w_p = \%16\sim 19$ ve plastisite indisi $I_p = \%9\sim 15$ arasında değişmekte olup, kumlu birimlerdeki ince daneli fraksiyon plastik olmadığı

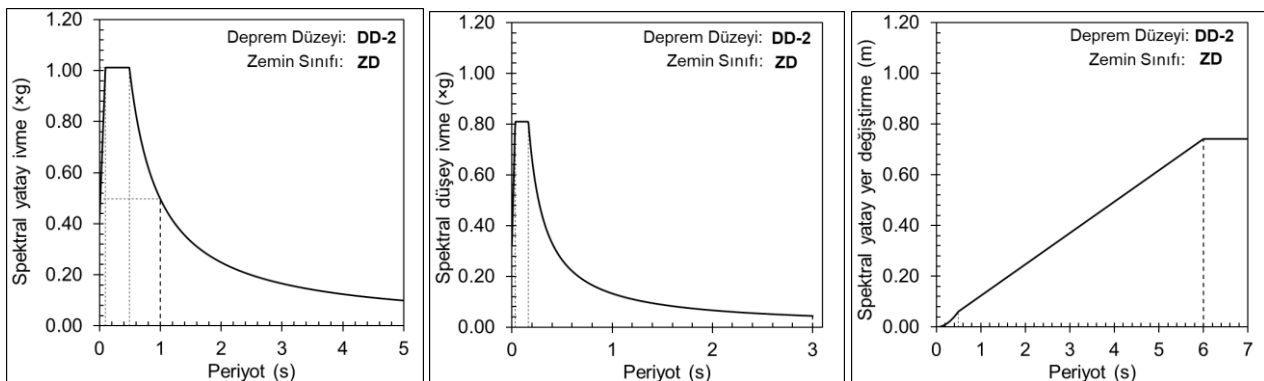
belirlenmiştir. Sınıflandırma deneyleri sonucunda numunelerin Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre genel olarak düşük plastisiteli kil (CL), siltli kum (SM), killi kum (SC) (TS EN ISO 14688-2'ye göre CIL, SiSa, CiSa) sınıfında yer aldığı anlaşılmaktadır. Numunelerin likit limit ve plastisite indisi değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Sondajlardan alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan kesme kutusu deneylerinden kohezyon $c=4\sim 10$ kPa, kayma mukavemeti açısı $\phi=23\sim 27^\circ$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. Likit limit ve plastisite indisinin derinlikle değişimi
(Variation of liquid limit and plasticity index with depth)

3.2. Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi (Evaluation of liquefaction potential)

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY, 2018) göre, DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde (DD-2) Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})'nin $0.50 \leq S_{DS} < 0.75$ ve $0.75 \leq S_{DS}$ olduğu, Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1, 1a, 2 ve 2a olan binalar için; ZD, ZE veya ZF grubuna giren zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin arazi ve laboratuvar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemleri ile incelenmesi gerekli kılınmaktadır. Yine aynı yönetmeliğe göre zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesinin altında yer alan ve yüzeyden 20 m derinliğe kadar olan kohezyonsuz veya düşük kohezyonlu zeminlerin, deprem yükleri altında boşluk suyu basıncındaki artış nedeniyle kayma mukavemeti yani taşıma gücü ve rijitliğindeki azalış olarak tanımlanmaktadır. Potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminler, yeraltı suyunun altında yer alan kum, çakıllı kum, siltli killi kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımları olup; zemin cinsi, yeraltı su seviyesi, yer ivmesi, dane çapı dağılımı, rölatif sıkılık, ince dane oranı ve plastisite gibi birçok faktör sıvılaşmaya etki etmektedir. Sıvılaşma analizlerinde genel olarak zemin kesitinde dikkate alınan bir derinlik için zeminin sahip olduğu sıvılaşma direnci (τ_R) ile depremin o derinlikte üreteceği kayma gerilmesi (τ_{dep}) karşılaştırılmaktadır. Bu değerlerin oranı ise sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı $G_s = \tau_R / \tau_{dep}$ olarak tanımlanmakta ve $G_s > 1.1$ olması durumunda ise sıvılaşma potansiyelinin olmadığı kabul edilmektedir. İnceleme konusu sahanın coğrafi konumu ile, yapılan arazi penetrasyon, sismik ve laboratuvar deney sonuçları dikkate alındığında bir tasarım depremi altında yapıya etkiyecek dinamik kuvvetlerin hesabında kullanılacak tasarım ivme spektrumlarının belirlenmesinde yerel zemin sınıfı ZD olarak kabul edildiğinde, Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından yararlanılarak DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için en büyük yer ivmesi $PGA=0.370$ g, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı $S_{DS}=1.012$ olarak elde edilmiştir. Elastik tasarım spektrumları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Elastik tasarım spektrumları (Elastic design spectrums)

Sıvılaşma direncinin hesaplanması için TBDY, 2018'de SPT sonuçlarına göre önerilen yöntem kullanılmıştır. Tasarım depreminin moment büyüklüğü $M_w=7.5$ ve yukarıda verilen kısa periyod spektral ivme katsayısı ile yapılan hesaplamalarda ilgili derinlikte zeminin sıvılaşmaya karşı direnci (τ_R), SPT-N darbe sayılarına bağlı olarak tekrarlı kayma gerilmesi oranından elde edilmiştir. Belirli bir derinlikte düşey efektif gerilmeye (σ_{v0}') ve tekrarlı gerilme oranına (CSR) göre zeminin sahip olduğu kayma direnci ile aynı derinlikte depremin neden olacağı kayma gerilmesi (τ_{dep}) aşağıda verilen Bağıntı (1)-(12) ile hesaplanmış ve sıvılaşmaya karşı güvenlik sayılarının derinlikle değişimi Şekil 6'da verilmiştir.

$$\tau_R = CRR_{M=7.5} C_M \sigma_{v0}' \quad (1)$$

$$C_M = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \quad (2)$$

$$CRR_{M=7.5} = \frac{1}{34 - N_{1,60f}} + \frac{N_{1,60f}}{135} + \frac{50}{[10N_{1,60f} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (3)$$

$$N_{1,60f} = \alpha + \beta N_{1,60} \quad (4)$$

$$\alpha = 0 ; \beta = 1 \quad (IDO \leq \%5) \quad (5)$$

$$\alpha = \exp \left[1.76 - \left(\frac{190}{IDO^2} \right) \right] ; \beta = 0.99 + \frac{IDO^2}{100} \quad (\%5 < IDO \leq \%35) \quad (6)$$

$$\alpha = 5.0 ; \beta = 1.2 \quad (IDO \geq \%35) \quad (7)$$

$$\tau_{dep} = 0.65 \sigma_{v0} (0.4S_{DS}) r_d \quad (8)$$

$$r_d = 1.0 - 0.00765z \quad z \leq 9.15m \quad (9)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \quad 9.15m < z \leq 23m \quad (10)$$

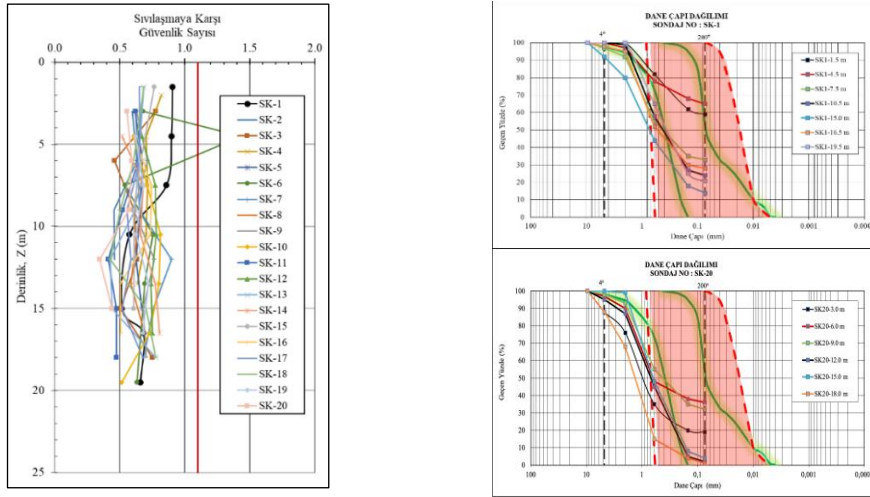
$$r_d = 0.744 - 0.008z \quad 23m < z \leq 30m \quad (11)$$

$$r_d = 0.50 \quad z > 30m \quad (12)$$

Bağıntılarda $CRR_{M=7.5}$ moment büyüklüğü 7.5 olan depreme karşı gelen dinamik dayanım oranını, C_M tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme katsayısını ve r_d ilgili derinlikteki gerilme azaltma katsayısını, σ_{v0} ve σ_{v0}' sırasıyla sıvılaşma değerlendirmesi yapılan derinlikteki toplam ve efektif düşey gerilmeyi, $N_{1,60}$, α , β ve $N_{1,60f}$ ise sırasıyla düzeltilmiş SPT-N darbe sayısını, ince dane oranına (IDO) göre SPT-N düzeltme katsayılarını ve ince dane içeriğine göre düzeltilmiş SPT-N vuruş sayısını göstermektedir.

SPT-N darbe sayısına bağlı olarak yapılan klasik sıvılaşma analizlerinde, dikkate alınan yer ivmesi altında sahada sıvılaşmaya karşı güvenlik sayıları Şekil 6'dan da görülebileceği üzere $G_s < 1.1$ olup yaklaşık 0.4 ila 0.9 arasında değişmektedir. Bu değerler sahada bir sıvılaşma potansiyelinin olduğuna işaret etmektedir. Ancak inceleme konusu sahada zemin kesitinde üstteki bitkisel örtü altında sondaj sonuna kadar ardalanmalı olarak devam eden az çakıllı siltli kum-killi kum ve düşük plastisiteli kumlu siltli kil tabakalarında, yüzeyden yaklaşık 8.0 m derinlikte bulunan yer altı su seviyesi üstündeki sıvılaşma beklenmemektedir. Ayrıca zeminleri oluşturan malzemelerin dane çapı dağılımı, sıvılaşma potansiyelini belirlemede önemli bir faktör olmaktadır. Arazi ve laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak Iwasaki (1986) tarafından yapılan çalışmada sıvılaşmaya karşı hassas zeminlerin dane çapı dağılımının alt ve üst sınırları belirlenmiş, dane çapı dağılımında ortalama dane çapının $D_{50}=0.10 \sim 0.20$ mm ve efektif dane çapının $D_{10}=0.01 \sim 0.05$ mm olması durumunda zeminin sıvılaşmaya karşı hassas olduğu ortaya konulmuştur. Örnek teşkil etmesi açısından sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan deneylerle belirlenen dane çapı dağılımları, sıvılaşan zeminlere ait dane çapı dağılımlarının alt ve üst sınırları ile birlikte iki sondaj için yine Şekil 6'da verilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere numunelerin dane çapı dağılımları sıvılaşan zeminlere ait dane çapı dağılımlarının alt ve üst sınırlarının kısmen içerisinde olup, sıvılaşmaya hassas zeminlerin dane çapı kriterleri de kısmi olarak sağlamaktadır.

SPT-N darbe sayısına bağlı olarak yapılan klasik sıvılaşma analizlerinde sıvılaşmaya karşı güvenlik sayılarının yeterli düzeyde olmaması ve sıvılaşma potansiyelinin olduğuna işaret etmektedir. Bu durumda yürürlükte bulunan yönetmelik hükümleri gereğince zemin sıvılaşması değerlendirmesinde sıvılaşma tetiklenmesi riski yanında, sıvılaşma sonrası temel zemininde oluşabilecek yer değiştirmelerin dikkate alınması gerekli olmaktadır. Oturmaların izin verilen sınırların dışında olması ve bu oturmaların yapısal hasara yol açma olasılığının bulunması durumunda temel zemininde önlem alınması gerekmektedir.



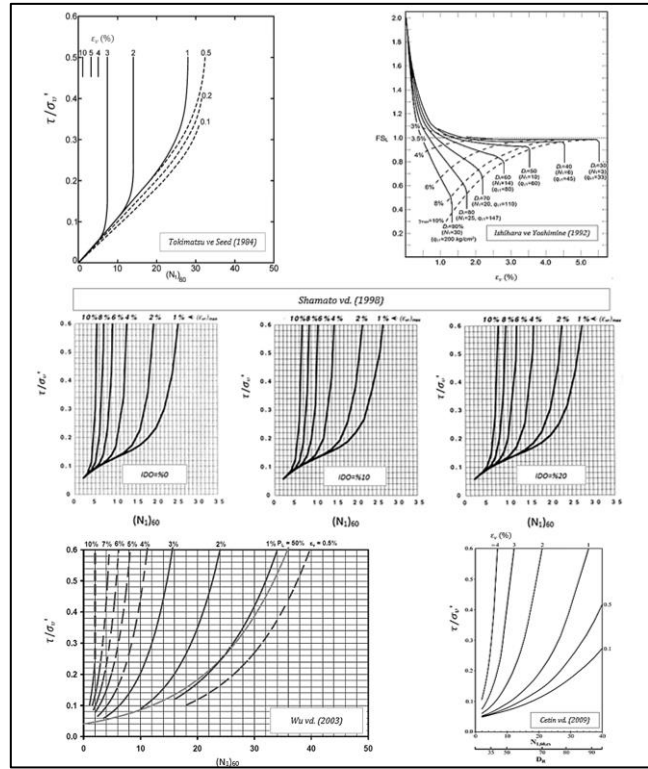
Şekil 6. Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısının derinlikle değişimi ve dane çapı dağılımları
(Variation of safety factor against liquefaction with depth and grain size distributions)

3.3. Sıvılaşma kaynaklı oturmaların ampirik yaklaşımlar ve sayısal analizlerle belirlenmesi (Determination of liquefaction-induced settlements by empirical approaches and numerical analysis)

Sıvılaşma kaynaklı oturmaların tahmin edilebilmesi için geoteknik deprem mühendisliğinde kullanılan numerik ve ampirik olmak üzere birçok farklı yöntem mevcuttur. Ampirik yaklaşımlarda, laboratuvar deneyleri ve arazi incelemelerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda önerilen korelasyonlar kullanılırken, numerik yöntemlerde matematiksel denklemlerle ifade edilen sıvılaşma davranışı genellikle sonlu elemanlar veya sonlu farklar metotları kullanılarak analiz edilmektedir. Ampirik yöntemlerde sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı ve tekrarlı gerilme oranının (CSR) ile SPT-N sayıları arasındaki ilişkilere dayanan grafiksel çözümler önerilirken, sayısal yöntemlerde ise zemin tabakalarının doğrusal olmayan dinamik davranışının ve pekleşmesinin göz önüne alındığı bünye denklemleri ile analizler gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada ilgili sahada sıvılaşma nedeniyle oluşması beklenen oturmalar önce ampirik yaklaşımlar ile sonrasında iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemine dayanan sayısal analizlerle belirlenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

3.3.1. Ampirik Yaklaşımlar (Empirical approaches)

Sıvılaşma kaynaklı oturmaların ampirik yaklaşımlar ile belirlenmesinde literatürde birçok kaynak bulunmaktadır. Tokimatsu ve Seed (1984), Ishihara ve Yoshimine (1992), Shamato vd. (1998), Wu vd. (2003) ile Çetin vd. (2009) tarafından önerilen yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde sıvılaşma sonrası oturma, hacimsel birim şekil değiştirme değerlerinin derinlik üzerinden integrali alınarak hesaplanmaktadır. Pratik kullanımı mümkün ilk çalışma olan Tokimatsu ve Seed yöntemi ile tekrarlı yüklemeye sonrası düzeltilmiş SPT-N ve tekrarlı gerilme oranına ($CSR = \tau_R / \sigma_v'$) bağlı olarak hacimsel birim deformasyonlar tahmin edilebilmektedir. Ishihara ve Yoshimine yöntemi ise sıvılaşma sırasındaki hacimsel birim şekil değiştirmeler (ϵ_v), SPT-N, rölatif sıkılık (D_r) ve sıvılaşmaya karşı hesaplanmış güvenlik sayısı (G_s) arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Shamato vd. yönteminde sıvılaşma sonrası oturma tahmininde ince dane oranı da (IDO) dikkate alınırken; Wu vd., Çetin vd. yöntemlerinde SPT-N ve tekrarlı gerilme oranı-CSR ile ilişkilendirilerek tekrarlı yüklemeye sonrası hacim birim deformasyonları tahmin edilmektedir. Bu yöntemlere ait ilişkiler grafik olarak Şekil 7'de verilmiştir.



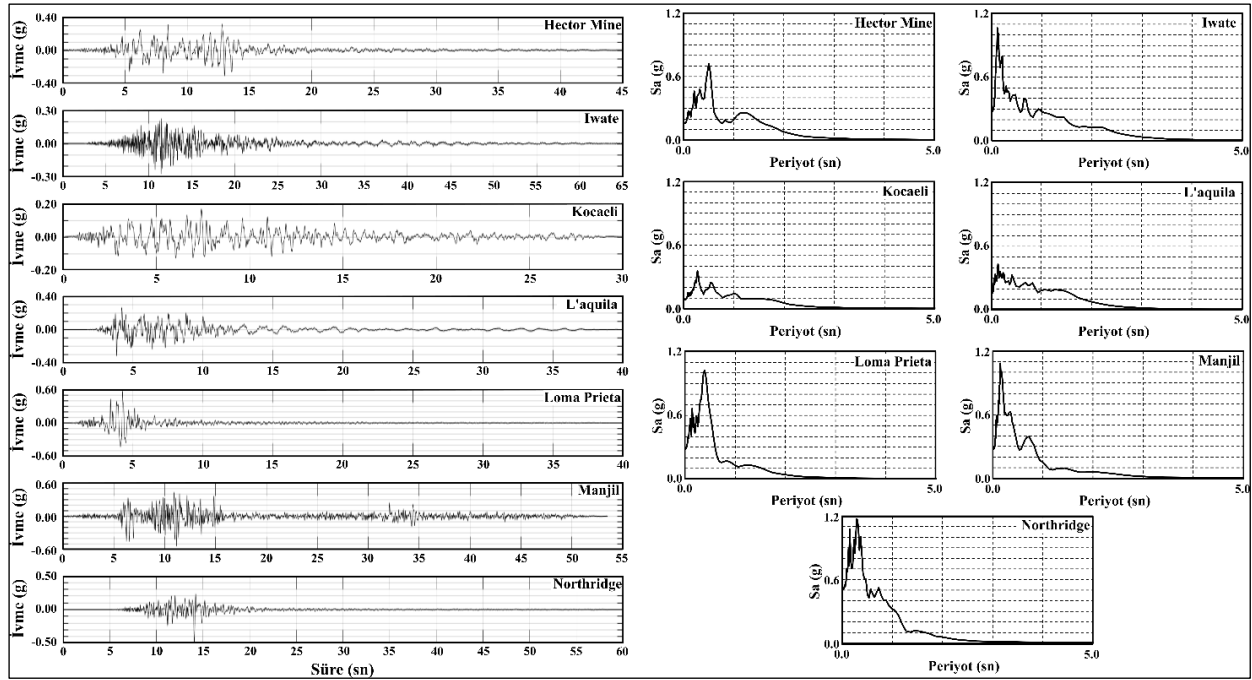
Şekil 7. Ampirik yöntemler ile sıvılaşma kaynaklı oturma hesabında kullanılan grafikler
(The graphs used for liquefaction-induced settlement with empirical method)

3.3.2. Sayısal Analizler (Numerical Analysis)

Sayısal analizler kapsamında bölgeyi etkileyecek farklı ivme ve frekans içeriğine sahip depremlerde oluşabilecek oturmaların belirlenmesi amacıyla kum tabakalarının dinamik davranışını modelleyen, gerilme oranı kontrollü, kritik durum teorisi ile uyumlu ve iki boyutlu plastisite teorisine dayanan bünye denklemlerinden oluşan PM4Sand Bünye Modeli kullanılmış, farklı kuvvetli yer hareketi altında mevcut durumda ve zemin yüzeyine dolgu inşaatı sonrasında sıvılaşma kaynaklı oturmalar elde edilmiştir. Başlangıç gerilme koşulları ise “Hardening Soil with Small-Strain Stiffness (HSS)” bünye denklemleri ile belirlenmiştir. Bölgenin depremselliği dikkate alınarak hedef tasarım ivme spektrumuna uygun ve anakaya üzerinde alınmış yedi farklı ivme-zaman kaydı seçilmiştir. Kuvvetli yer hareketi kayıtları seçilirken fay mekanizmaları, süre (T), moment büyüklüğü (M_w), maksimum ivme (PGA), depremin hakim frekansı (f_{eq}), arias şiddeti (I_a), karakteristik şiddet (I_c) ve kümülatif mutlak hız (CAV) parametrelerinin farklılık göstermesine dikkat edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)’da yer alan gerçek kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılmıştır. Kuvvetli yer hareketi kayıtlarına taban (baseline) düzeltmesi yapılmış ve Butterworth yöntemine göre 0.5-15 Hz arasında bandpass filtreleme uygulanmıştır. Analizlerde kullanılan kuvvetli yer hareketi kayıtlarının özellikleri Tablo 1’de, ivme-zaman geçişleri ise Şekil 8’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kuvvetli yer hareketi özellikleri (Strong ground motion properties)

No	Deprem Adı	Kırılma Mekanizması	V_{s30} (m/s)	Süre (s)	M_w	PGA (g)	f_{eq} (Hz)	I_a (m/s)	I_c	CAV (m/sec)
1	Hector Mine	Doğru Atımlı	726	45.0	7.13	0.31	1.82	1.80	0.077	11.35
2	Iwate	Ters	826	65.0	6.90	0.27	0.59	1.10	0.048	11.10
3	Kocaeli	Doğru Atımlı	811	30.0	7.51	0.17	1.93	0.53	0.034	6.55
4	L'aquila	Normal	717	40.0	6.30	0.31	0.59	1.05	0.053	8.58
5	Loma Prieta	Ters Oblik	1428	40.0	6.93	0.56	2.69	1.63	0.074	6.92
6	Manjil	Doğru Atımlı	724	53.5	7.37	0.53	2.93	4.31	0.142	21.91
7	Northridge	Ters	706	60.0	6.69	0.50	4.25	1.05	0.048	7.55



Şekil 8. Analizlerde kullanılan depremlerin ivme-zaman kayıtları ve spektral ivmeler
(Acceleration-time history records and spectral acceleration of earthquakes used in the analysis)

Sayısal analizler için sondajlar ve laboratuvar deney sonuçları kullanılarak bir zemin modeli ve model parametreleri oluşturulmuştur. Kum zemin tabakalarının sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu ilk 20 metrelik derinlik göz önüne alınarak modelin düşey uzunluğu 20 m olarak belirlenmiş ve kum tabakasının altına, kuvvetli yer hareketi kaydını modele etkitebilmek için TBDY'e göre yerel zemin sınıfı ZB olan 1.0 m kalınlığında mühendislik taban kayası tanımlanmıştır. Modelin yatay uzunluğu 100 m olarak seçilmiş ve sınır şartları ile uygunluk göstermesi için her iki tarafa 1.0 m kalınlığında kum zemin tabakası ile benzer özelliğe sahip drenajlı tabakaları tanımlanmıştır. Bilindiği üzere deprem girdi hareketi hem yukarı hem de aşağı yönlü yayılan dalgalardan oluşmaktadır. Analizlerde dinamik zemin davranışının doğru bir şekilde modellenebilmesi amacıyla kuvvetli yer hareketinin sadece yukarı yönlü bileşeninin yayılmasına izin vermek ve aşağı yönlü dalgayı engellemek için Şekil 9'da gösterildiği gibi alt sınır koşulu "compliant base" olarak seçilmiştir. Modelin her iki yanında ise düğüm noktalarının benzer yer değiştirme yapacak şekilde bağlayacak "tied degree of freedom" sınır koşulu kullanılmıştır. Analizlerde yeraltı su seviyesi altında zemin tabakaları 2 m kalınlığında alt tabakalara ayrılmış, tabakalara ait $N_{1,60}$ değerlerine bağlı olarak kayma dalgası hızı ve rölatif sıkılık değerleri kullanılmıştır.

Plaxis 2D sonlu elemanlar yazılımı ile yapılan analizlerde hassasiyetini arttırmak 15 düğüm noktalı elemanlar kullanılmış, dinamik analizlerde uygun ağ yoğunluğu yaygın olarak kullanılan ortalama eleman boyutu (OEB) Bağntı (13) ile belirlenmiştir. Burada $V_{(S,min)}$, zemin tabakasındaki en düşük kayma dalgası hızı ve f_{maks} ise kuvvetli yer hareketi kaydının maksimum frekans içeriğidir. Deprem dalgalarının düğüm noktaları arasında bir dinamik zaman adımında birden fazla elemandan geçmesini önlemek için Bağntı (14) ile kritik zaman adımı (Δt) belirlenmiştir. Burada, I_{min} iki düğüm noktası arasındaki minimum mesafe iken, $V_{(S,tabaka)}$, zemin tabakasının kayma dalgası hızıdır. Yukarıda belirtilen hususlar göz önüne alınarak oluşturulan sonlu eleman ağında 15 düğüm noktalı 3426 üçgen eleman kullanılmıştır. Oluşturulan modeldeki ortalama eleman boyutu ise 1.25 m ve zaman adımı 0.005 saniyedir. Sonlu elemanlarla gerçekleştirilen dinamik analizlerdeki önemli hususlardan biri de zemin tabakasının sönüm parametrelerinin belirlenmesidir. Plaxis 2D programında C sönümlenme, M kütle ve K rijitlik matrisleri kullanılarak Bağntı (15) ile Rayleigh sönüm parametreleri belirlenmiştir. Rayleigh sönüm parametreleri, Plaxis'te Hedef 1 (f_1) ve Hedef 2 (f_2) olmak üzere iki farklı değişkenle belirlenmektedir. Burada (f_1), tüm zemin profilinin hakim frekansını göstermekte ve Bağntı (16) ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde, $V_{(S,ortalama)}$ zemin tabakasının ortalama kayma dalgası hızı iken H ise tabaka kalınlığıdır. f_2 ise f_{eq} ve f_1 parametrelerine bağlı olarak Bağntı (17) ile elde edilen f_2 değerinin en yakın tam sayıya yuvarlanması ile belirlenmektedir (Vilhar ve Brinkgreve, 2018). Yapılan analizlerde hedef sönümlenme oranı (ξ) %2 olarak belirlenmiştir.

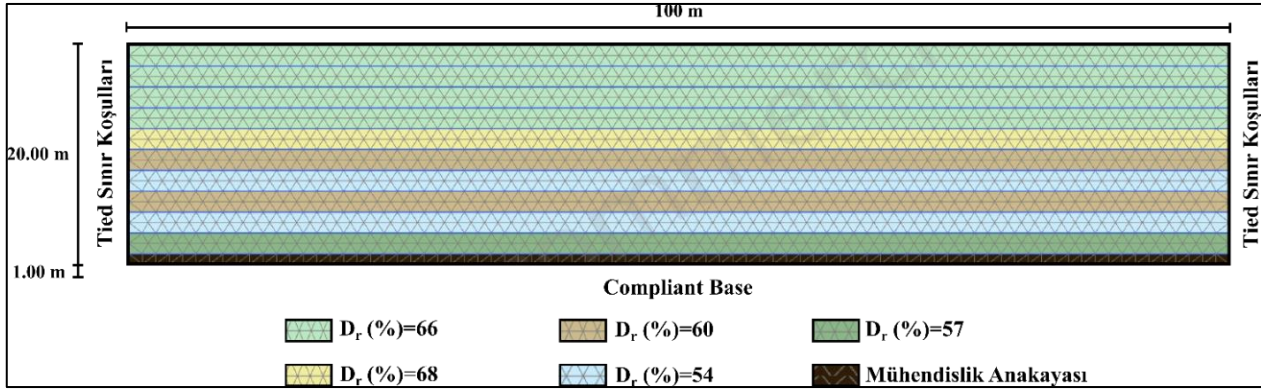
$$OEB = V_{(S,min)} / 8f_{maks} \quad (13)$$

$$\Delta t \leq I_{min} / V_{(S,tabaka)} \quad (14)$$

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (15)$$

$$f_1 = V_{(S,ortalama)} / 4H \quad (16)$$

$$f_2 = f_{eq} / f_1 \quad (17)$$

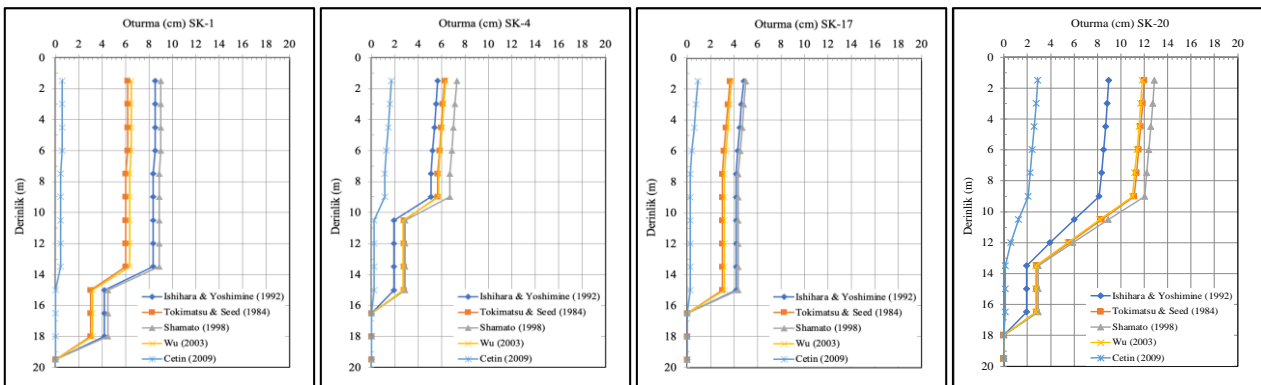


Şekil 9. Serbest saha analizlerinde kullanılan zemin modeli ve sonlu elemanlar ağı
(Soil model and finite element mesh used in free field analysis)

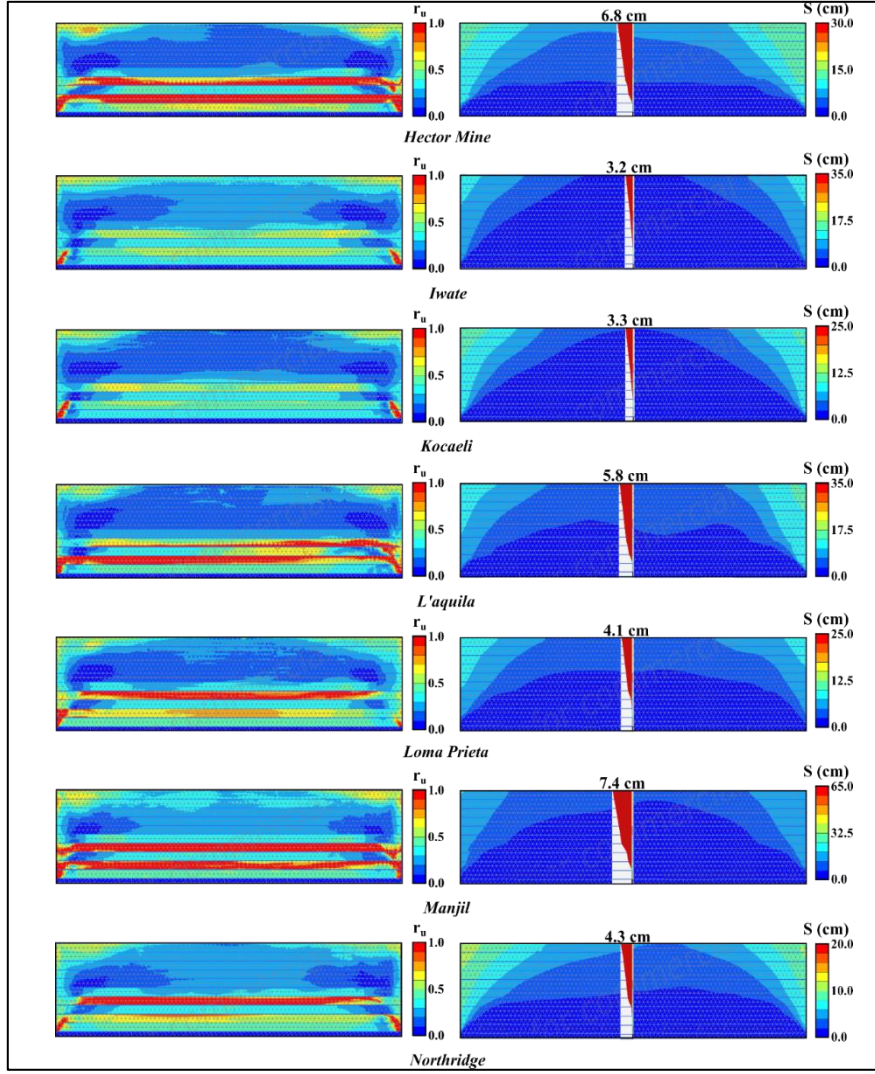
Hem serbest saha koşullarında hem de zemin yüzeyine dolgu imalatı ile yapılacak iyileştirme sonrasında gerçekleştirilen dinamik analizlerde Ko koşulu ile başlangıç adımı oluşturmuştur. Serbest saha koşullarında gerçekleştirilen analizlerde bu adım oluşturulduktan sonra kum zemin özelliklerine uygun parametreler kullanılarak Hardening Soil with small-strain stiffness (HSS) zemin modeli atanmıştır. Bunun yapılmasındaki temel amaç, oluşturulan zemin profilinde statik koşullar altında başlangıç gerilme durumunun doğru bir şekilde belirleyebilmektedir. Dolgu sonrasında sıvılaşma kaynaklı oturmaların elde edilmesi için yapılan analizlerde ise Ko koşulu ile başlangıç adımını takiben kademeli olarak 2.5 m kalınlığında dolgu tabakası tanımlanmıştır. Oluşturulan zemin profilinde başlangıç gerilme durumunun doğru bir şekilde belirlenebilmesi için dolgu zemin için Hardening Soil Model, kum zemin için ise HSS modeli atanmış ve statik yükler altında oturmalar tamamlanana kadar konsolidasyon aşaması gerçekleştirilmiştir. Sadece sıvılaşma kaynaklı oturma değerlerini belirleyebilmek amacıyla konsolidasyon aşamasından sonra oturmalar sıfırlanmıştır. Her iki analizde de son aşamada zemin iskeleti ile boşluklarda serbestçe hareket eden suyun davranışını modelleyen Biot Teoris'i'ne dayanan konsolidasyonlu dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Böylece belirlenen depremler için sıvılaşma kaynaklı oturma değerleri elde edilmiş ve boşluk suyu basıncı oranı (r_u) değişimleri incelenmiştir.

4. Analiz Sonuçları (Analysis Results)

Bölgenin coğrafi konumuna bağlı olarak belirlenmiş deprem kaynak özellikleri ve sondaj verileri kullanılarak ampirik bağıntılar ve PM4Sand Bünye Modeli ile yapılan analizler ile sıvılaşma sonrası oturma değerleri elde edilmiştir. Ampirik bağıntılarda, mevcut yerel zemin koşulları ve geoteknik özellikler kullanılarak her sondaj verisi için düzeltilmiş SPT-N sayıları, depremin üreteceği kayma gerilmesi, efektif gerilme, tekrarlı kayma gerilme oranı ile elde edilen sıvılaşma kaynaklı oturma değerlerinin serbest saha koşulları için derinlikle değişimi sırasıyla olarak Şekil 10'da, serbest saha koşullarında gerçekleştirilen numerik analizlerde belirlenen her deprem için elde edilen oturma değerleri r_u değerlerinin değişimi ile birlikte Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 10. Ampirik yöntemlerle elde edilen sıvılaşma kaynaklı oturma değerlerinin derinlikle değişimi
(Variation of liquefaction-induced settlement values by empirical approaches with depth)

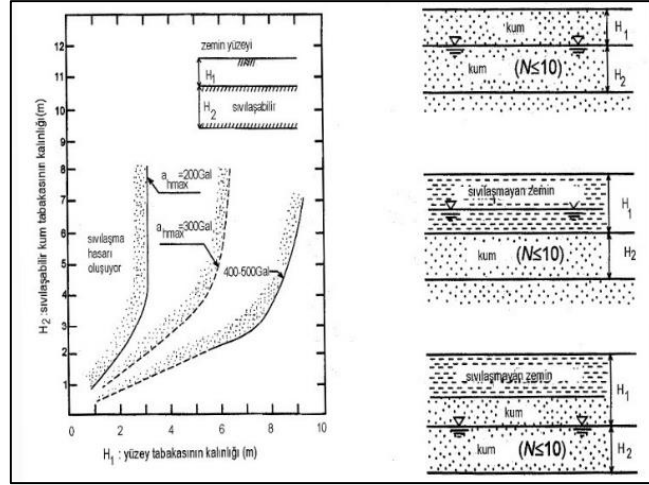


Şekil 11. PM4Sand Modeli ile gerçekleştirilen serbest saha analizlerinde elde edilen r_u ve oturma değerleri (r_u and settlement values obtained in free field analyzes performed with PM4Sand Model)

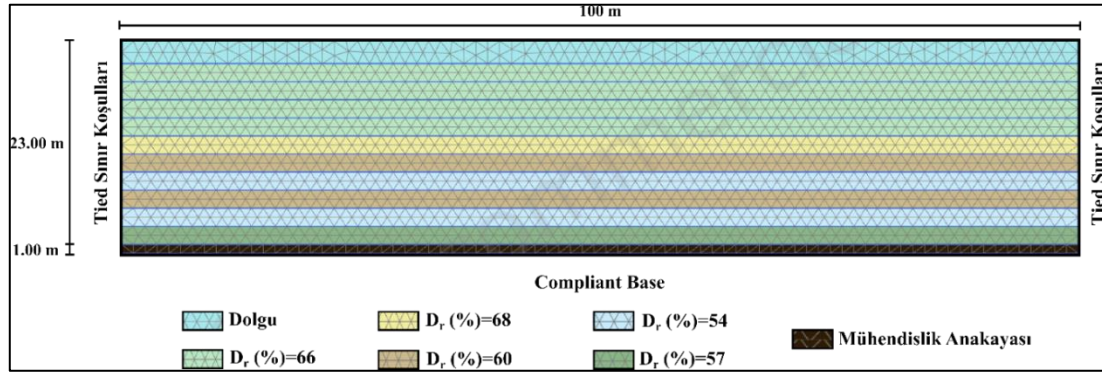
Ampirik bağıntılar ile yapılan hesaplarda yeraltı su seviyesinin altında belirli bölgelerde sıvılaşma kaynaklı oturma gözlenmezken, yeraltı su seviyesinin üzerinde yer alan kum tabakası güvenli tarafta kalınarak sıvılaşma potansiyeli var olarak kabul edildiği için zemin yüzünde meydana gelecek oturmalar 4~13 cm arasında elde edilmiştir. Yapılan hesaplar sonucunda depremler durumunda sıvılaşma olasılığının yaklaşık %20~80 arasında olduğu, sıvılaşma sonrasında ise ortalama yaklaşık %10 hacimsel birim şekil değiştirme olabileceği anlaşılmaktadır. PM4Sand bünye modeli kullanılarak farklı deprem hareketleri için sayısal yöntemler ile yapılan analizler sonucunda ise şekilden de görüleceği üzere belirli bölgelerde ise sıvılaşma durumuna işaret eden $r_u=1$ değerine yüzey ivme değerlerinin $a_{maks}>0.50$ g olduğu durumlarda ulaşmaktadır. Sıvılaşmanın gerçekleşmesi durumunda ise zemin yüzeyinde oluşacak oturmalar 3.2~7.5 cm arasında hesaplanmıştır. Ampirik ve sayısal yöntemlerle elde edilen sıvılaşma kaynaklı oturma değerleri karşılaştırıldığında ampirik yöntemler ile yapılan hesaplamalar sonucunda görece daha büyük oturmalar elde edilmiş olmasına karşılık Ishihara ve Yoshimine (1992) tarafından önerilen yaklaşım ile elde edilen sonuçların sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Tüm bu sonuçlardan sıvılaşma riskini azaltmak, oluşabilecek oturmaları sınırlandırmak amacıyla temel zemininde uygun bir yöntemle önlem alınmasının gerekli olduğu anlaşılmaktadır.

Ishihara (1985) tarafından sıvılaşan tabakanın üzerinde yeterli kalınlıkta sıvılaşmayan bir tabakanın bulunması durumunda sıvılaşmayla ilgili tehlikelerin oluşumunu tahmin etmek için sıvılaşmamış kabuk tabakasının (H1) kalınlığına, alttaki sıvılaştırılmış tabakanın (H2) kalınlığına ve PGA değerine bağlı olarak "Ishihara kriteri" geliştirilmiştir (Şekil 12). Ishihara kriteri dikkate alınarak ve inceleme konusu sahada yeraltı su seviyesinin yüzeyden ortalama 8 m derinlikte olduğu hesaba katılarak, yapı temellerinin altına tüm sahayı kapsayacak şekilde ortalama kalınlığı 3.0 m olan nitelikli bir mühendislik dolgusunun teşkili ile sıvılaşma kaynaklı oturmaların izin verilen sınırlar içerisinde kalacağı değerlendirilmiştir. Önerilen yöntemin uygunluğunu belirlemek için PM4Sand modeli ile iki boyutlu dinamik analizler belirlenen depremler için daha önceki bölümde ayrıntılı olarak açıklanmış yöntemle yapılan analizler sonucu sıvılaşma durumu, boşluk suyu basıncı oranının model içinde dağılımı ve

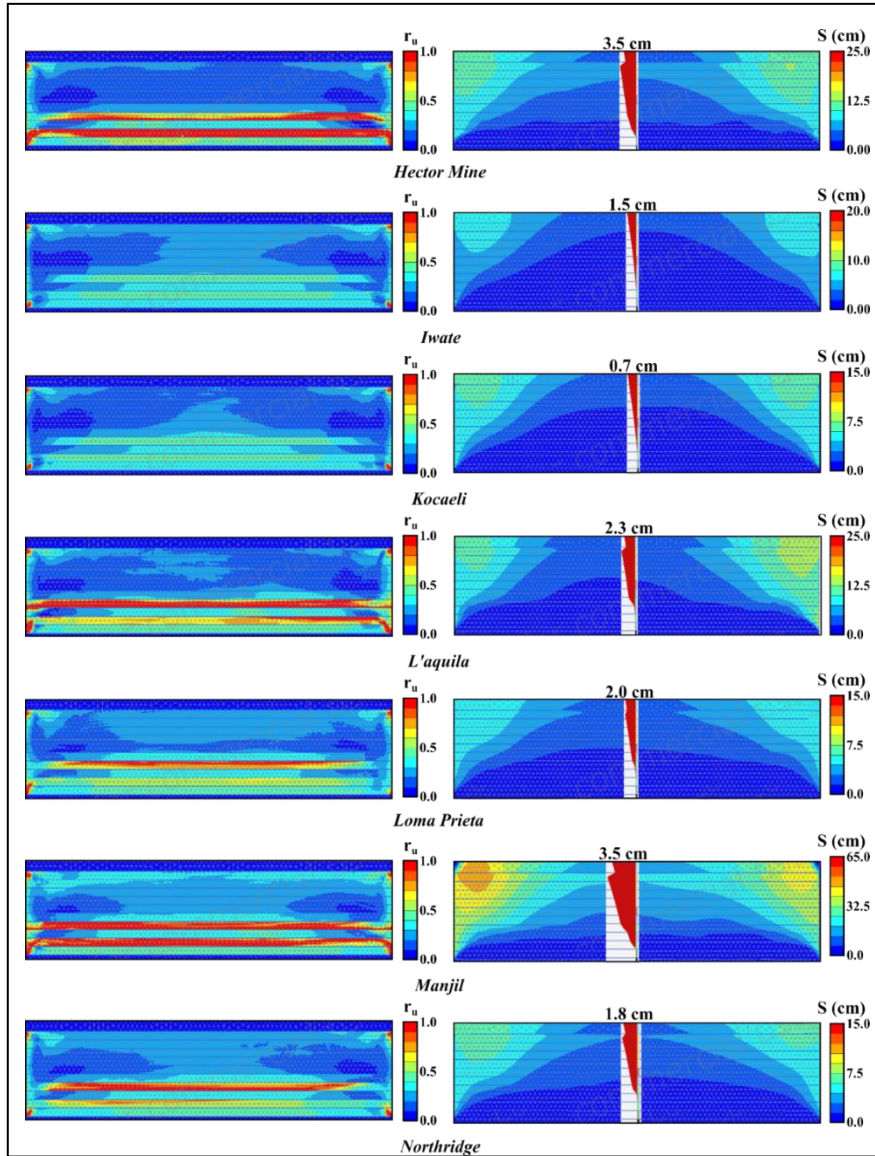
yüzeyde oluşacak oturmalar belirlenmiştir. Zemin yüzeyine dolgu sonrası yapılan dinamik analizlerde kullanılan zemin modeli ve sonlu elemanlar ağı, sınır koşulları ile birlikte Şekil 13'te, analiz sonuçları ise her deprem için ayrı ayrı Şekil 14'te verilmiştir. Ayrıca dolgu tabakasının sıvılaşma kaynaklı oturmalara etkisi, karşılaştırma kolaylığı açısından Tablo 2'de özetlenmiştir.



Şekil 12. Ishihara kriteri (Ishihara criterion)



Şekil 13. Dolgu sonrası saha analizlerinde kullanılan zemin modeli ve sonlu elemanlar ağı
(Soil model and finite element mesh used in the analysis after fill construction)



Şekil 14. Dolgu imalatı sonrası elde edilen r_u ve oturma değerleri
(r_u and settlement values obtained after fill construction)

Tablo 2. Dolgu öncesi ve sonrası sıvılaşma kaynaklı oturmaların karşılaştırılması
(Comparison of liquefaction-induced settlements before and after fill)

Deprem Adı	Dolgu öncesi oturma (cm)	Dolgu sonrası oturma (cm)	Oturmalarda azalma (%)
Hector Mine	6.8	3.5	49
Iwate	3.2	1.5	53
Kocaeli	3.3	0.7	77
L'aquila	5.8	2.3	60
Loma Prieta	4.1	2.0	52
Manjil	7.4	3.5	52
Northridge	4.3	1.8	57

Zemin yüzeyine yapılan mühendislik dolgusu ile birlikte sahada sıvılaşma potansiyelinde beklenildiği gibi önemli bir azalma olmaktadır. Boşluk suyu basıncı artışı sınırlı kalmış ve modelin belli bölgelerinde efektif gerilme yenilmesine neden olmuştur. Yeraltı su seviyesinin üstünde sıvılaşmayan tabaka üzerine yapılan mühendislik dolgusu yüzeyde kabuk tabakası oluşturmada ve alt tabakalarda oluşabilecek sıvılaşma kaynaklı etkileri önlemede yararlı olmaktadır. Mühendislik dolgu tabakası ile birlikte sıvılaşmayan tabaka kalınlığı 10 m'yi aşmakta olup sıvılaşan tabaka kalınlığı ile karşılaştırıldığında, sıvılaşma kaynaklı oturmaların yüzeyde önemli bir etki olmayacağı söylenebilmektedir. Nitekim yapılan dinamik analizler sonucunda büyük ivmeli depremlerde dahi boşluk suyu basıncı oranı ve oturmalar izin verilen sınırlar içinde kaldığı anlaşılmaktadır. Yüzeyde oluşturulan ve sıvılaşmaya karşı dirençli olan dolgu sonrasında oturma değerleri deprem ivmesine bağlı olarak 0.7~3.5 cm olarak

elde edilmiştir ve oturma değerlerinde %49~77 oranında azalma gözlenmiştir. Bu değerler izin verilen sınırlar içerisinde olup üst yapıda bir hasara sebep olmayacağı düşünülmektedir. Sonuç olarak yerel zemin koşulları, depremsellik ve planlanan yapı özellikleri ile zemine aktarılacak yükler dikkate alınarak yüzeyde uygun kalınlıkta bir mühendislik dolgu tabakasının teşkili sıvılaşma kaynaklı oturmaları önlemede yararlı bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Yerel zemin koşulları ve kuvvetli yer hareketi özelliklerine bağlı olarak boşluk suyu basıncının artması nedeniyle zeminin mukavemetini yitirmesi olarak tanımlanan sıvılaşma sonucu meydana gelebilecek deformasyonların yapısal hasar açısından değerlendirilmesi, mühendislik yapılarının planlanması ve inşası için önemli olmaktadır. Sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerde doğrudan iyileştirme yapılmasına karar verilmesi yerine oluşacak oturmaların yapıya etkisinin incelenmesi yaklaşımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu anlayışa uygun olarak bu çalışmada, zemine aktarılacak yükler bakımından taşıma gücü problemi olmayan ancak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY, 2018) göre sıvılaşma potansiyeli bulunan çok geniş bir alana yayılan bir mühendislik yapısı yerleşim sahasında sıvılaşma kaynaklı oturmalar farklı yöntemlerle incelenmiştir.

Çalışmada bölgeyi etkileyebilecek yer ivmesi için yönetmelik hükümleri gereğince SPT sonuçlarına göre yapılan analizlerde, sıvılaşmaya karşı güvenlik sayılarının yeterli düzeyde olmadığı ve sıvılaşma kaynaklı oturmaların da yapısal hasara neden olabilecek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle yapı yerleşim alanında sıvılaşma potansiyelinin ve sıvılaşma kaynaklı oturmaların uygun bir yöntemle azaltılması yoluna gidilmiştir. Bu amaçla ekonomik ve uygulanabilir bir çözüm olarak Ishihara kriteri dikkate alınarak zemin yüzeyine ortalama kalınlığı 3.0 m olan bir mühendislik dolgu tabakası imalatı önerilmiş ve önerilen yöntemin uygunluğunu farklı ivme ve frekans içeriğine sahip kuvvetli yer hareketleri altında PM4Sand Bünye Modeli ile gerçekleştirilen numerik analizler ile araştırılmıştır. Önce sahanın coğrafi konumuna bağlı olarak belirlenmiş deprem kaynak özellikleri ve sondaj verileri kullanılarak mevcut durumda Tokimatsu ve Seed (1984), Ishihara ve Yoshimine (1992), Shamato vd. (1998), Wu vd. (2003) ve Çetin vd. (2009) tarafından önerilen ampirik bağıntılar kullanılarak zemin yüzünde meydana gelebilecek oturma değerleri hesaplanmış, sonrasında yapılan sayısal analizler sonucunda bulunanlarla karşılaştırılmıştır. Genel olarak bakıldığında sıvılaşma sonrası oturma değerleri karşılaştırıldığında Ishihara ve Yoshimine (1992) tarafından önerilen yaklaşım ile elde edilen sonuçların sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Zemin yüzeyine yapılan uygun kalınlıkta nitelikli bir mühendislik dolgusu sonrası PM4Sand modeli ile 2 boyutlu dinamik analizler sonucunda oturma değerlerinin deprem ivmesine bağlı olarak %44~73 oranında azaldığı ve büyük ivmeli depremlerde dahi boşluk suyu basıncı oranının ve sıvılaşma kaynaklı oturmaların izin verilen sınırlar içinde kaldığı belirlenmiştir.

Bir alan araştırması sunan ve arazi ve laboratuvar verileri kullanarak yapılan sayısal analizlere dayanan bu çalışma ile sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerde deprem yüklerine maruz kaldığı durumda meydana gelebilecek oturma değerlerini azaltmak amacıyla diğer iyileştirme yöntemlerine kıyasla daha ekonomik ve pratik bir yöntem sunan zemin yüzeyine uygun kalınlıkta sıvılaşmayan bir dolgu tabakası inşasının sıvılaşma üzerindeki etkisi hakkında uygulamaya katkı sağlamak ve aktif bir deprem kuşağı içerisinde yer alan ülkemizde bu yöntemin kullanımını yaygınlaştırmak amaçlanmıştır. Bununla birlikte, elde edilen sonuçların ilgili sahanın geoteknik özellikleri ve coğrafi konumuna bağlı olarak belirlenen tasarım depremi ile belirlenen kalınlıkta ve özellikte dolgu tabakası için geçerli olduğu; yapı yükleri, temel taban basınç değerleri ve temel derinliği gibi yapı ile ilişkili değişkenlerden de etkileneceği, elde edilen oturma değerlerinin statik durumda dolgu yükünden kaynaklanan oturma değerlerini içermeyen sıvılaşma kaynaklı oturma değerleri olduğu ve tüm bunlara bağlı olarak farklı coğrafi konumlarda yer alan sahalarda arazi ve laboratuvar yapılabilecek çalışmalardan elde edilen parametreler kullanılarak uygun dolgu tabakası kalınlığının belirlenmesi gerektiği açıktır. Bahsedilen yöntemin özellikle yumuşak kil ardalı kum tabakalarının bulunduğu sahalarda tek başına uygulanması halinde statik yükleme koşullarında oluşabilecek oturmalar ayrı olarak ele alınmalıdır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmada Bakyapı İnşaat Enerji Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. ve Temeltaş Teknik Yapı A.Ş. tarafından sağlanan desteğe yazarlar teşekkür ederler. The authors thank the support provided by Bakyapı Construction Energy Mining Industry and Trade Inc. and Temeltaş Teknik Yapı Inc. in this study.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Adalier, K., Elgamal, A., Meneses, J., Baez, J. I., 2003. Stone columns as liquefaction countermeasure in non-plastic silty soils. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 23(7), 571-584.
- Alver, O., Sezen, A., Eseller-Bayat, E. E. (2021). Tbdy 2018'e Göre Geoteknik Tasarım: Sıvılaşma Ve Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi Analizleri. *Teknik Dergi*, 32(5), 11197-11226.
- Álamo, G. M., Padrón, L. A., Aznárez, J. J., Maeso, O., 2022. Numerical model for the dynamic and seismic analysis of pile-supported structures with a meshless integral representation of the layered soil. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20(7), 3215-3238.
- Başarı, E. (2011). KUZZEY-DOĞU BURSA İL MERKEZİ ZEMİNLERİNİN DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 13(1), 39-53.
- Beatty, M. H., Byrne, P. M., 2011. UBCSAND constitutive model version 904aR. Itasca UDM Web Site, 69.
- Boulanger, R. W., Ziotopoulou, K., 2018. PM4Silt (Version 1): A silt plasticity model for earthquake engineering applications. Report No. UCD/CGM-18/01, Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, CA, 108 pp.
- Bray, J. D., Dashti, S., 2014. Liquefaction-induced building movements. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12(3), 1129-1156.
- Carey, J. M., McSaveney, M. J., & Petley, D. N. (2017). Dynamic liquefaction of shear zones in intact loess during simulated earthquake loading. *Landslides*, 14(3), 789-804.
- Cetin, K. O., Bilge, H. T., Wu, J., Kammerer, A. M., Seed, R. B., 2009. Probabilistic model for the assessment of cyclically induced reconsolidation (volumetric) settlements. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(3), 387.
- Cetin, K. O., Seed, R. B., Kayen, R. E., Moss, R. E., Bilge, H. T., Ilgac, M., Chowdhury, K., 2018. Examination of differences between three SPT-based seismic soil liquefaction triggering relationships. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 113, 75-86.
- Chafale, A., Annam, M. K., 2022. A Review on Ground Improvement with Surcharge in Addressing Liquefaction Mitigation. *Dynamics of Soil and Modelling of Geotechnical Problems*, 367-375.
- Chen, G., Wang, Y., Zhao, D., Zhao, K., Yang, J., 2021. A new effective stress method for [38] nonlinear site response analyses. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 50(6), 1595-1611.
- Chiaradonna, A., 2022. Defining the Boundary Conditions for Seismic Response Analysis—A Practical Review of Some Widely-Used Codes. *Geosciences*, 12(2), 83.
- Dafalias, Y. F., Manzari, M. T., 2004. Simple plasticity sand model accounting for fabric change effects. *Journal of Engineering mechanics*, 130(6), 622-634.
- Das, A., Chakraborty, P., 2022. Simple models for predicting cyclic behaviour of sand in quaternary alluvium. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(5), 1-19.
- Dashti, S., Bray, J. D., Pestana, J. M., Riemer, M., Wilson, D., 2010. Centrifuge testing to evaluate and mitigate liquefaction-induced building settlement mechanisms. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 136(7), 918.
- Demiroz, A., Yildiz, F., 2021. Investigation of the dynamic behavior of soils of Konya Organized Industrial Zone by equivalent linear analysis method. *Selcuk University Journal of Engineering Sciences*, 20(3), 98-104.
- Dimitriadi, V. E., Bouckovalas, G. D., Chaloulos, Y. K., Aggelis, A. S., 2018. Seismic liquefaction performance of strip foundations: effect of ground improvement dimensions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 106, 298-307.
- Dogan, G., Ecemis, A. S., Korkmaz, S. Z., Arslan, M. H., Korkmaz, H. H., 2021. Buildings Damages after Elazığ, Turkey Earthquake on January 24, 2020. *Natural hazards*, 109(1), 161-200.
- Doyuran, V., Kocyiğ'it, A., Yazıcıgil, H., Karahanoğlu, N., Toprak, V., Topal, T., Süzen, M.L., Yeşilnacar, E., Yılmaz, K.K., 2000. Yenişehir Belediyesi Yerleşim Alanı Jeolojik/Jeoteknik İncelemesi. METU Project: 99-03-09-01-02. 227 pp., unpublished
- Gong, W., Tien, Y. M., Juang, C. H., Martin II, J. R., Zhang, J., 2016. Calibration of empirical models considering model fidelity and model robustness—focusing on predictions of liquefaction-induced settlements. *Engineering Geology*, 203, 168-177.
- Gurbuz, T., Cengiz, A., Kolemenoglu, S., Demir, C., Ilki, A., 2022. Damages and Failures of Structures in İzmir (Turkey) during the October 30, 2020 Aegean Sea Earthquake. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-42.
- Hanna, A. M., Ural, D., Saygili, G., 2007. Neural network model for liquefaction potential in soil deposits using Turkey and Taiwan earthquake data. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27(6), 521-540.
- Hashash, Y. M., Phillips, C., Groholski, D. R., 2010, May. Recent advances in non-linear site response analysis. In 5th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics (No. 4).
- Holzer, T. L., Youd, T. L., 2007. Liquefaction, ground oscillation, and soil deformation at the Wildlife Array, California. *Bulletin of the Seismological society of America*, 97(3), 961-976.
- Huang, Y., Wen, Z., 2015. Recent developments of soil improvement methods for seismic liquefaction mitigation. *Natural Hazards*, 76(3), 1927-1938.
- Huang, Y., Yashima, A., Sawada, K., Zhang, F., 2008. Numerical assessment of the seismic response of an earth embankment on liquefiable soils. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67(1), 31-39.
- Ishihara, K., 1985. Stability of natural deposits during earthquakes. In International conference on soil mechanics and foundation engineering. 11 (pp. 321-376).
- Ishihara, K., Tatsuoka, F., Yasuda, S., 1975. Undrained deformation and liquefaction of sand under cyclic stresses. *Soils and foundations*, 15(1), 29-44.
- Ishihara, K., Yoshimine, M., 1992. Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes. *Soils and foundations*, 32(1), 173-188.
- Iwasaki, T., 1986. Soil liquefaction studies in Japan: state-of-the-art. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 5(1), 2-68.
- Kumar S.S., Dey A., Krishna A.M., 2020. Liquefaction potential assessment of brahmaputra sand based on regular and irregular excitations using stress-controlled cyclic triaxial test. *KSCE Journal of Civil Engineering* 24(4):1070-1082, DOI: 10.1007/s12205-020-0216-x
- Makdisi, A. J., 2021. Liquefaction-targeted ground motion parameters. University of Washington.

- Manzari, M. T., Kutter, B. L., Zeghal, M., Iai, S., Tobita, T., Madabhushi, S. P. G., Zhou, Y. G., 2014, August. LEAP projects: Concept and challenges. In Proceedings of 4th International Conference on Geotechnical Engineering for Disaster Mitigation and Rehabilitation (pp. 109-116).
- Moayed, R. Z., Naeini, S. A., 2012. Improvement of loose sandy soil deposits using micropiles. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16(3), 334-340.
- Nicholson, P. G., 2014. Soil improvement and ground modification methods. Butterworth-Heinemann.
- Ntritsos, N., Cubrinovski, M., 2020. A CPT-based effective stress analysis procedure for liquefaction assessment. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 131, 106063.
- Patel, A., 2019. Geotechnical investigations and improvement of ground conditions. Woodhead Publishing.
- Pribadi, K. S., Abduh, M., Wirahadikusumah, R. D., Hanifa, N. R., Irsyam, M., Kusumaningrum, P., Puri, E., 2021. Learning from past earthquake disasters: The need for knowledge management system to enhance infrastructure resilience in Indonesia.
- Şartnamesi, K. T., 2013. Kısım 402: Temel. Karayolları Teknik Şartnamesi.
- Seed, H. B., Martin, P. P., Lysmer, J., 1975. "The generation and dissipation of pore water pressures during soil liquefaction." Rep.No.EERC 75-26, Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkeley, Ca.
- Shamoto, Y., Zhang, J. M., Tokimatsu, K., 1998. New charts for predicting large residual post-liquefaction ground deformation. *Soil dynamics and earthquake engineering*, 17(7-8), 427-438.
- Sonmez, B., Ulusay, R., Sonmez, H., 2008. A study on the identification of liquefaction-induced failures on ground surface based on the data from the 1999 Kocaeli and Chi-Chi earthquakes. *Engineering Geology*, 97(3-4), 112-125.
- Streeter, V. L., Wylie, E. B., Richart Jr, F. E., 1974. Soil motion computations by characteristics method. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 100(3), 247-263.
- Subasi, O., Koltuk, S., Akbas, M., Iyisan, R., 2021, November. A Numerical Study on Liquefaction Induced Settlements by Using PM4Sand Model. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1203, No. 3, p. 032029). IOP Publishing.
- Taiebat, M., Shahir, H., Pak, A., 2007. Study of pore pressure variation during liquefaction using two constitutive models for sand. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27(1), 60-72.
- TBDY., 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Theodoulidis, N., Karakostas, C., Lekidis, V., Makra, K., Margaris, B., Morfidis, K., Savvaidis, A., 2016. The Cephalonia, Greece, January 26 (M6. 1) and February 3, 2014 (M6. 0) earthquakes: near-fault ground motion and effects on soil and structures. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 14(1), 1-38. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 64, 102424.
- Tokimatsu K, Hino K, Suzuki H, Ohno K, Tamura S, Suzuki Y., 2019. Liquefaction-induced settlement and tilting of buildings with shallow foundations based on field and laboratory observation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 124:268-279, DOI: 10.1016/j.soildyn.2018.04.054
- Tokimatsu K, Seed H.B., 1984. Simplified procedures of the evaluation of settlements in clean sands. Rep. No. UCB/GT-84/16, University of California Berkeley, Berkeley, CA, USA
- Tokimatsu, K., Seed, H. B., 1984. Simplified procedures for the evaluation of settlements in clean sands. College of Engineering, University of California.
- Tokimatsu, K., Yoshimi, Y., 1983. Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content. *Soils and Foundations*, 23(4), 56-74.
- Tolon, M. (2013). Karşılaştırmalı Sayısal Sıvılaştırma Analizi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Tosun, H., 2015. Earthquakes and dams. In *Earthquake Engineering-From Engineering Seismology to Optimal Seismic Design of Engineering Structures*. IntechOpen.
- Vilhar, G., Brinkgreve, R., 2018. Plaxis the PM4Sand model 2018.
- Wang, J., Deng, Y., Shao, Y., Liu, X., Feng, B., Wu, L., Peng, H., 2018. Liquefaction behavior of dredged silty-fine sands under cyclic loading for land reclamation: laboratory experiment and numerical simulation. *Environmental Earth Sciences*, 77(12), 1-15.
- Wu, J., 2002. Liquefaction triggering and post-liquefaction deformation of Monterey 0/30 sand under unidirectional cyclic simple shear loading. University of California, Berkeley.
- Ye, B., Ye, G., Zhang, F., Yashima, A., 2007. Experiment and numerical simulation of repeated liquefaction-consolidation of sand. *Soils and Foundations*, 47(3), 547-558.
- Zhang, G., Robertson, P. K., Brachman, R. W. I., 2004. Estimating liquefaction-induced lateral displacements using the standard penetration test or cone penetration test. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(8), 861-871.
- Zhang, J. M., & Wang, G., 2012. Large post-liquefaction deformation of sand, part I: physical mechanism, constitutive description and numerical algorithm. *Acta Geotechnica*, 7(2), 69-113.



BAFA GÖLÜ HAVZASI YÜZEY VE YERALTI SULARININ HİDROJEOKİMYASI VE KİRLİLİĞİ

Ayşen DAVRAZ*, Şamil YILDIZ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yeraltı Suyu,
Yüzey Suyu,
Hidrojeokimya,
Kalite,
Bafa Gölü Havzası.

Öz

Bafa Gölü, Büyük Menderes Nehri deltasının güneydoğu kesiminde, Büyük Menderes'in taşıdığı alüvyonlar ile birlikte kıyıda uzaklaşmış doğal bir set gölüdür. Bafa Gölü doğusunda bulunan alüvyon taneli akifer özelliği taşımaktadır. Gölün güneyinde bulunan Mesozoyik yaşlı kireçtaşları ise karstik akiferdir. Çalışmada, havzada bulunan yüzey ve yeraltı sularının hidrojeokimyasal ve kalite özellikleri incelenmiştir. Bafa Gölü ve göle ulaşan kanallardan alınan su örnekleri NaCl su sınıfındadır. Bu sulardaki Na⁺ ve Cl⁻ artışı antropojenik kökenli kirleticilerden kaynaklanmaktadır. Gölyaka, Bafa ve Kapıkırı köyleri civarında kuyu ve derelerden alınan sular ise karışım sularını yansıtmaktadır. Gölyaka ve Bafa civarındaki dere ve kuyu sularında baskın katyon ve anyon Ca²⁺ ve HCO₃⁻'dir. Bafa Gölü ve kanal sularının iz element ve azot türevi içeriklerine göre genel olarak IV. su kalite sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Gölyaka, Bafa ve Kapıkırı köyleri civarında sığ kuyulardan alınan yeraltı suları ise sıcaklık, toplam çözünmüş katı madde, NH₄, Na, Hg, Cd, Pb, As, Cu, Cr, Ni, Zn, Ba ve Al parametreleri açısından I. su kalite sınıfındadır. Havzada, Bafa Gölü ve kanal sularının sulama suyu olarak kullanıma uygun olmadıkları, dere ve yeraltı sularının sulamaya uygun oldukları tespit edilmiştir.

HYDROGEOCHEMISTRY AND POLLUTION OF LAKE BAFA BASIN SURFACE AND GROUND WATERS

Keywords

Groundwater,
Surface Water,
Hydrogeochemistry,
Quality,
Bafa Lake Basin.

Abstract

A Lake Bafa is a natural barrier lake in the southeastern part of the Büyük Menderes River delta, away from the shore with the alluviums carried by the Büyük Menderes. The alluvium where in the east of Lake Bafa has grained aquifer properties. Mesozoic aged limestones in the south of the lake are karstic aquifers. In the study, the hydrogeochemical and quality characteristics of the surface and ground waters in the basin were examined. The water samples taken from Lake Bafa and the channels reaching the lake are in the NaCl water class. The increase in Na⁺ and Cl⁻ in these waters is due to anthropogenic pollutants. The waters taken from wells and streams around Gölyaka, Bafa and Kapıkırı villages reflect mixing waters. The predominant cation and anion in stream and well waters around Gölyaka and Bafa are Ca²⁺ and HCO₃⁻. According to the trace element and nitrogen derivative contents of Lake Bafa and its canal waters, IV. It has been determined that it is in the water quality class. Groundwater taken from shallow wells around Gölyaka, Bafa and Kapıkırı villages is in I. water quality class in terms of temperature, total dissolved solids, NH₄, Na, Hg, Cd, Pb, As, Cu, Cr, Ni, Zn, Ba and Al parameters. In the basin, it has been determined that Lake Bafa and canal waters are not suitable for use as irrigation water, and stream and ground waters are suitable for irrigation.

Alıntı / Cite

Davraz, A., Yıldız, Ş., (2023). Bafa Gölü Havzası Yüzey ve Yeraltı Sularının Hidrojeokimyası ve Kirliliği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 145-159.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Davraz, 0000-0003-2442-103X
Ş. Yıldız, 0000-0002-2295-779XA.

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	20.09.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	24.10.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	24.10.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: aysendavraz@sdu.edu.tr, +90-246-211-1326

HYDROGEOCHEMISTRY AND POLLUTION OF LAKE BAFA BASIN SURFACE AND GROUND WATERS

Ayşen Davraz[†], Şamil Yıldız

Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Department of Geological Engineering, Isparta, Türkiye

Highlights

- Lake Bafa is one of the important wetlands of the Aegean Region.
- Na and Cl increase in waters is related to anthropogenic pollutants.
- The waters of Lake Bafa are generally IV. water quality class.

Purpose and Scope

Lake Bafa, one of the bird sanctuaries with its rich flora and ecological value, is a salty lake separated from the sea. There are no geology, hydrogeology, hydrogeochemistry and pollution studies on the basis of the Bafa Lake Basin. Accurate identification and sustainable use of natural and artificial elements that control the quantity and quality of any water resource or wetland is possible by conducting research on a basin basis. Within the scope of this study, it is aimed to carry out detailed hydrogeological, hydrogeochemical and pollution studies of the Bafa Lake Basin.

Design/methodology/approach

Water samples were taken from surface and ground waters in the Bafa Lake Basin in April 2022. The electrical conductivity (EC), hydrogen ion concentration (pH) and temperature (T) values of the water samples were measured in the field with a multi-parameter device. Major anion (HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-}), major cation (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), trace element and nitrogen derivative analyzes of surface and groundwater samples were performed. The analysis results obtained were evaluated and interpreted with different graphics.

Findings

The water samples taken from Lake Bafa and the channels reaching the lake were determined to be in the NaCl water class. The high Na^+ and Cl^- content in the waters reflects the possible impact of geothermal waters and anthropogenic sources used in industrial facilities discharged into the canals. In the stream and well waters around Gölyaka and Bafa, the dominant cation is Ca^{2+} and the dominant anion is HCO_3^- . This situation reflects the relationship between waters and marbles in this region. High nitrate content in the surface waters of Lake Bafa basin is associated with industrial and domestic wastewater. The nitrate increase in groundwater taken from shallow wells is due to chemical fertilizers and animal wastes. In addition, Al, As, B, Ba, Br, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn analyzes of water samples were made. It is observed that all trace element contents are quite high in the waters of the Channel and Lake Bafa. The increases in these heavy metals are generally due to the wastewater discharged into the Dalyan channel, which is within the basin and reaches Bafa Lake from Söke Sub-basin. The high Fe and Mn contents detected in the well waters of Kapıkırı and Gölyaka are also thought to be of anthropogenic origin. Surface and ground waters in the basin have been classified using "Quality Criteria According to Classes of Inland Water Resources". It can be said that the waters of Lake Bafa are generally in the IV water quality class. Stream, well and canal waters in the basin are used as irrigation water. The usability of these waters as irrigation water was evaluated using Wilcox and USA Salinity diagrams and Sodium Adsorption Rate (SAR), Permeability Index (PI), Kelly Ratio (KR) and Magnesium Hazard (MT) parameters. In general, it has been determined that the canal waters are not suitable for use as irrigation water.

Practical implications (if applicable)

Some of the well waters in the Bafa Lake basin are also used for drinking water purposes. High Fe and Mn contents were detected in the well waters of Kapıkırı and Gölyaka, which are used for drinking water purposes. Long-term use of these waters for drinking water purposes may cause health problems. In this region and throughout the basin, chemical analyzes of the wells used for drinking water should be carried out and continuous monitoring should be ensured and measures should be taken against pollution. In addition, it is seen that the canal waters in the basin are used for irrigation water purposes. In the evaluations made using different irrigation water graphics and empirical formulas, it was determined that the use of canal waters as irrigation water is not suitable. Necessary measures should be taken in this regard.

[†] Corresponding author: aysendavraz@sdu.edu.tr, +90-246-211-1326

Originality

This study was carried out within the scope of the master's thesis. The research is an original study in which hydrogeochemical evaluations and pollution analyzes of surface and groundwater in the basin are made first.

1. Giriş (Introduction)

Sulak alanlar hidrolojik özelliklerine bağlı olarak buldukları alanda yeraltı suyu beslenme-boşalım ilişkileri, su kalitesi, sel ve erozyon kontrolü, ekolojik dengenin sağlanması, besin çeşitliliği, yabancı hayatın devamlılığı ve bölgeye mikro-klima özelliğinin sağlanması gibi konularda önemli katkıları olan doğal ekosistemlerdir. Hemen hemen bütün su kaynaklarında iklim koşullarındaki olumsuz değişiklikler ve insan kaynaklı kirlilikler nedeniyle problemlere rastlanmaktadır. Ülkemizde yer alan sulak alanların büyük bir kısmında iklim değişikliği, plansız yapılaşma, suyun plansız kullanımı, insan faaliyetleri kaynaklı etkenler nedeniyle miktar ve kalite açısından sorunlar yaşanmaktadır. Sulak alanlarda karşılaşılan problemler günümüzde ayrıntılı araştırmaları gerektirmiştir.

Ege Bölgesi'nin önemli sulak alanlarından biri olan Bafa Gölü zengin florası ile ekolojik değere sahip kuş cennetlerinden biridir. Toplamda 261 kuş türü saptanan Bafa Gölü 1989 yılında "Doğal Sit Alanı" ve 1994 yılında "Tabiat Parkı" ilan edilmiştir (<http://www.wwf.org.tr>; Algül ve Beyhan, 2018). Bafa Gölü'nün konumu, hidrolojik yapısı, büyüklüğü ve kullanım alanları gibi özellikleri, gölün ekolojik yapısı, su ve sediment kimyasına yönelik konularda farklı araştırmalar yapılmasını sağlamıştır. Bu araştırmalarda Bafa Gölü su ve sedimentleri ile Büyük Menderes Nehri suları ön plana çıkmakta olup Bafa Gölü Havzası bazında jeoloji, hidrojeoloji, hidrojeokimya ve kirlilik araştırmaları bulunmamaktadır. Herhangi bir su kaynağının veya sulak alanın miktar ve kalitesini denetleyen doğal ve yapay unsurların doğru bir şekilde tespiti ve sürdürülebilir kullanımının sağlanması araştırmaların havza bazında gerçekleştirilmesi ile mümkündür. Bu çalışma kapsamında Bafa Gölü Havzası'nın ayrıntılı hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve kirlilik araştırmalarının yapılması amaçlanmaktadır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Hakyemez vd. (1999) tarafından yapılan çalışmada Holosen dönemi boyunca Büyük Menderes grabeninin alüvyonal delta oluşuklarıyla Bafa Gölü'nün önünün kapatıldığı ve iç lagünel göl oluşum modeli açıklanmıştır. Knipping, vd. (2008) araştırmalarında Bafa Gölü çevresinin palinolojik ve sedimentolojik özelliklerini dikkate alarak Büyük Menderes Deltası'nın ve alüvyon ovanın paleocoğrafik evrimini incelemişlerdir. Bafa Gölü havzası ve çevresinde jeolojik amaçlı olarak Menderes Masifi'nin yaşının tespiti, Büyük Menderes Grabeni'nin sedimentolojisi ve tektoniğine yönelik çalışmalar bulunmaktadır (Mckenzie, 1978; Erol, 1996).

Batı Anadolu'da yüksek entalpiye sahip jeotermal alanların bulunması nedeniyle jeotermal potansiyel açısından bölgede çok sayıda araştırma yapılmıştır. Jeotermal alanlar ağırlıklı olarak Büyük Menderes, Gediz, Simav, Bakırçay, İzmir, Gönen ve Edremit grabenlerinde yer almaktadır (Şimşek, 2003). Batı Anadolu'da denizel olmayan sıcak sulara farklı kökene ve derin dolaşıma sahip üç ayrı kimyasal bileşimli jeotermal su bulunduğu tespit edilmiştir (Vengosh, vd. 2002). Somay ve Gemici (2012), Büyük Menderes Deltası kuzey kesimde bulunan karstik kaynakları ve güneyde yeraltı suyu kuyularında tuzlanmadan bahsetmişlerdir. Bölgedeki tuzlanma sorununun sebeplerini deltanın geçirimsiz kısmından deniz suyu girişimi, tuz içerikli zeminden süzülen kış yağışlarının akiferi tuzlandırması ve alüvyon altında bulunan Holosen denizel tortullarının etkisi olarak özetlenmişlerdir.

Yılğör (2012) tarafından yapılan doktora tezinde Bafa Gölü sedimentlerinde Fe, Cr, Mn, Pb, Ni, Zn, Cu, Hg metallere konsantrasyonları saptanmış ve radyometrik yöntemler kullanılarak sediment çökelim hızı araştırılmıştır. Bu çalışmada Hg elementi açısından kirlilik olduğu belirlenmiştir. Süer (2017) tarafından yapılan çalışmada Bafa Gölü'ne ait genç çökellerin ve çevre florasının karbon, hidrojen, azot izotopik bileşimi incelenmiştir. Elde edilen izotopik değişimler denizel ortamın gölsel koşullara geçişini göstermiştir. Denizel evrede bentik türdeki organik maddenin baskınlığı, gölsel evrede ise planktonik organik madde baskınlığı tespit edilmiştir. Küçüksümbül (2018) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde Söke Ovası ve Bafa Gölü çevresinde jeotermal potansiyel ile toprak ve su kirliliği çalışılmıştır. Araştırmada jeotermal akışkanda deniz suyu girişimi belirlenmiş ve bu girişimin denizden Bafa Gölü'ne kadar uzanan Akköy Fayı ile denetlendiği tespit edilmiştir. İçme sularında bazı katyon ve ağır metal içeriklerinin yüksek olduğu ve Büyük Menderes nehri ile sulanan alanlardaki topraklarda kirlenme olduğu görülmüştür. Algül ve Beyhan (2020) yaptıkları çalışmada ise Bafa Gölü sığ sedimanlarında ağır metal konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Araştırmada sediman örneklerinde saptanan Co, Cu, Fe, Mn, Pb ve Zn kaynaklarının tamamının doğal kökenli, Cd kaynaklarının antropojenik kökenli, Ni ve Cr kaynaklarının ise hem antropojenik hem de doğal kökenli olduğu tespit edilmiştir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Bafa Gölü havzası, Büyük Menderes Havzası'nın Söke-Aydın Alt Havzası içerisinde Bafa alt bölümü olarak tanımlanmaktadır. Havza içerisindeki en önemli yüzey suyu Bafa Gölü'dür. Bafa Gölü yaklaşık 68.7 km² yüzey alanı ve 73 km kıyı uzunluğuna sahip ve Menderes Masifi'nin metamorfik kompleksi içinde bulunan tektonik graben bölgesinde yer almaktadır (Yılmaz ve Koç, 2014; Küçüksümbül vd., 2020). Gölün Büyük Menderes deltasının ilerlemesi sonucunda Ege Denizi'nin bir koyu iken denizle bağlantısı kesilerek oluştuğu bilinmektedir. Bafa Gölü'nün maksimum derinliği mevsimsel olarak 20 ile 25 m arasında değişmektedir. Gölün kuzeybatısındaki sığ kesimi Serçin Gölü olarak adlandırılmakta olup kurak dönemlerde Bafa Gölü'nden ayrılan bu bölümde su derinliği 2 ile 3.90 m arasındadır (Yılmaz ve Koç, 2014). Bafa gölünün beslenimi büyük oranda Büyük Menderes Nehri, yağış suları, yağışlı dönemlerde Beşparmak Dağları'ndan göle ulaşan küçük dereler ve yeraltı suyu akımı ile sağlanmaktadır. Boşalımı ise Bafa Çayının yine Büyük Menderes nehrine bağlantısı ile gerçekleşmektedir.

Büyük Menderes Nehri'nin suları günümüzde yapılan seddeler ve su alma yapıları ile kontrollü olarak Bafa Gölü'ne verilmekte ve göl seviyesi +2 m kotunda tutulmaya çalışılmaktadır. Doğal durumda Serçin ve Dalyan kanallarından beslenen Bafa Gölü günümüzde bir lastik şişme savaklı regülatör ve bu kanallar üzerindeki kapak yapıları ile kontrol edilmektedir. Bafa Gölü'ne kontrolsüz su girişi nedeniyle oluşabilecek etkilerin önlenmesi amacıyla sahil seddesi tasarlanmıştır. Kurak dönemde Büyük Menderes Nehri suları Bafa Gölü'nü beslemektedir (Küçüksümbül vd., 2020).

Havza gölün güneydoğu kesiminde daha geniş alana sahip olup bu bölgede Pınarcık, Bafa, Gölyaka gibi yerleşim alanları bulunmaktadır. Bu alanlarda içme ve sulama ihtiyacı yeraltı sularından sağlanmaktadır. Bafa Gölü havzasında mevsimlik akışa sahip çok sayıda dere bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri Karcılık ve Uluslu dereleridir.

Ege Bölgesindeki hızlı nüfus artışına bağlı antropojenik etkilerin fazlalığı nedeniyle günümüzde Büyük Menderes Nehri'nde kalite açısından önemli sorunlar yaşanmaktadır. Bu nehir aynı zamanda Bafa Gölü için de önemli bir kirlilik kaynağıdır. Göl çevresinde bulunan alt yapı sistemleri olmayan yerleşim yerleri kaynaklı evsel atık sular, göl kıyısındaki balık yetiştirme çiftlikleri, havza içerisindeki tarımsal alanlar ve hayvancılık faaliyetleri ile zeytin işleme tesislerinden gelen atık sular Bafa Gölü'nün diğer kirleticisi unsurlarıdır.

3.2. Örnekleme ve Analiz Yöntemi (Sampling and Analysis Method)

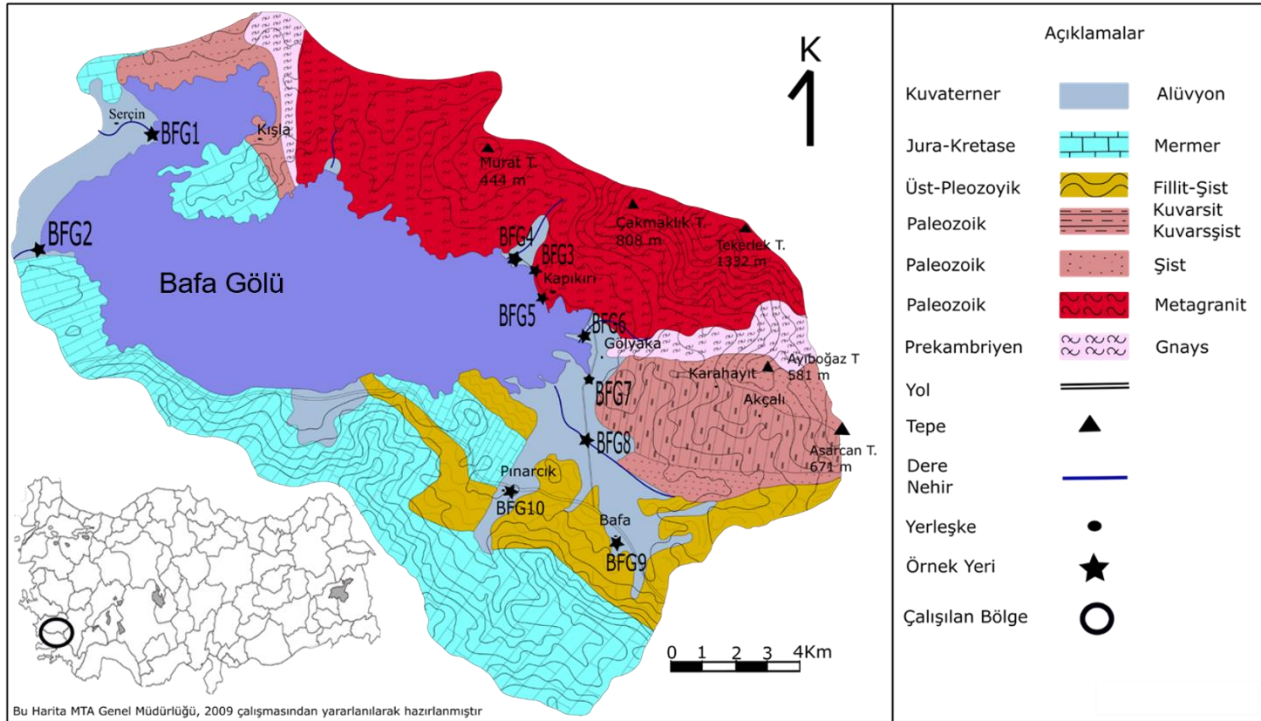
Bafa Gölü Havzası içerisinde bulunan yüzey ve yeraltı sularından Nisan-2022 döneminde su örnekleri alınmıştır. Su örneklerinin fiziksel parametreleri olan elektriksel iletkenlik (EC), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) ve sıcaklık (T) değerleri Hanna (HI 991301) marka çok parametrelili cihaz ile sahada ölçülmüştür. Örnek noktalarının lokasyonları GPS kullanılarak tespit edilmiştir. Su örneklerinin katyon analizi için alınan numunelere nitrik asit (HNO₃) eklenerek pH 2'nin altına düşürülmüştür. Anyon ve azot türevi analizleri için örnekler asitleştirilmemiştir. Yüzey ve yeraltı suyu örneklerinin majör anyon (HCO₃⁻, CO₃⁻², Cl⁻, SO₄⁻²,) ve azot türevi analizleri SDÜ, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Su, Kayaç ve Mineral Analiz Laboratuvarında; majör katyon (Na⁺, Ca⁺², Mg⁺², K⁺) ve iz element analizleri Bureau Veritas (Acme-Kanada) Analitik laboratuvarlarında yaptırılmıştır.

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

4.1. İnceleme Alanının Jeolojisi (Geology of the Study Area)

Bafa Gölü Havzası'nda Menderes Masifi'ne ait litolojiler ile Kuvaterner yaşlı çökeller bulunmaktadır. Menderes, Gediz ve Bakırçay çöküntülerinin temelini oluşturan ve en yaşlı birim olarak yüzeyleyen Menderes metamorfikleri gnays, mermer, şist, kuvarsit, kalkşist ve meta-serpantinlerden oluşmaktadır. Havzada yüzeyleyen bu metamorfik birimlere farklı araştırmacılar tarafından adlandırmalar yapılmıştır. Bölgede Prekambriyen yaşlı gözlü gnayslar Beşparmak formasyonu (Öztürk ve Koçyiğit, 1983), Paleozoyik yaşlı şistler Bafa formasyonu (Akat vd., 1975) ve Jura-Kretase yaşlı mermerler ise Bozdağ grubu olarak (Boray vd., 1973; Akat vd., 1975) adlandırılmıştır. Menderes Masifi'nin temelini oluşturan Beşparmak formasyonu gözlü gnays, granitik gnays, bantlı gnays ve migmatitten yapıldır (Dora vd., 1992). Araştırmacıların tamamına yakınına göre gnayslar çekirdek serisi olarak kabul edilmektedir. Mineralojik olarak kuvars, mika ve feldispatlardan oluşan gözlü gnayslarda çok iyi gelişmiş yapraklı yapılar, ince tabakalı ve yönlü mineral uzantıları gözlenmektedir (Akçer Ön, 2011; Dürr, 1975). Prekambriyen-Kambriyen yaşlı gnayslar masifin çekirdeğini oluşturan temel birimdir (Hetzl ve Reischmann, 1996). Beşparmak formasyonu Bafa Gölü'nün kuzeyinde geniş alanlarda yüzeylenmektedir (Şekil 1).

Bafa formasyonu, taze kırık yüzeyi grimsi yeşilimsi renkli, altere yüzeyi turuncumsu kahve renkli fillit ve şist birimlerinden oluşmaktadır. Formasyon yer yer ince mermer bantları ve serpantinleşmiş peridotit seviyeleri içermektedir. Formasyon tümü ile yeşil şist metamorfizmasına uğramıştır. Masifin örtü kayaları şist ve mermerler olarak belirtilmiştir. Şist; mika şist, kuvarsit, fillit ve kireçtaşlarından meydana gelmiştir (Başarı, 1970, 1975). Bafa formasyonu altında Prekambriyen yaşlı Beşpamak formasyonu üstünde ise Jura-Kretase yaşlı Bozdağ grubu bulunmaktadır. Bafa formasyonunun yaşı stratigrafik ilişkilerine göre Paleozoik olarak belirlenmiştir (Ercan vd., 1985). Menderes Masifi örtü kayalarının en üst düzeyini oluşturan Bozdağ grubunun alt düzeyleri gri renkli dolomitik kireçtaşları, üstlere doğru ise rekristalize kireçtaşları ve mermerlerden oluşmaktadır. Tabanda şistler ile ardalanmalı ve iyi katmanlanmaya sahip mermerler, üstte kaba taneli ve masif bir görünüm sunmaktadır. Bozdağ grubuna ait mermer ve rekristalize kireçtaşlarının Üst Triyas-Üst Kretase yaşlı oldukları bildirilmektedir (Akat vd., 1975; Ercan vd., 1985).



Şekil 1. Bafa Gölü Havzası jeoloji haritası ve örnek alım lokasyonları
(Geological map of Lake Bafa Basin and sampling locations)

4.2. İnceleme Alanının Hidrojeolojisi (Hydrogeology of the Study Area)

Bafa Gölü havzasında alüvyon ve mermer birimleri akifer özelliği taşımaktadır. Havzada bulunan farklı kayaların çakıl, kum, kil ve silt boyutundaki kırıntılarında oluşan alüvyonlar gözenekli ve yüksek geçirgenliğe sahip akiferdir. Bafa Gölü doğusunda alüvyon akiferde sulama ve içme suyu amaçlı açılmış sondaj kuyuları bulunmaktadır. Pınarcık, Bafa, Akçalı, Gölyaka, Karahayıt ve Kapıkırı köyleri civarında açılan kuyuların derinlikleri 12-106 m, debileri ise 2-3 l/s arasında değişmektedir. Bu kuyulardan en derini Karahayıt civarında açılmış olup Karahayıt ve Akçalı köyü civarında gnays, şist ve kuvarşşist birimlerinden yeraltı suyu alınmıştır. Diğer bölgelerdeki kuyularda ise alüvyon birim kesilmiştir. Havzada sınırlı bir alanda yayılım gösteren alüvyonlardan Bafa Gölü'ne yeraltı suyu beslenimi de olmaktadır.

Bafa Gölü güneyinde yer alan Menderes Masifi mermerleri karstik akifer özelliği taşımaktadır. Mermerlerin kırık-çatlak düzlemleri ve kırık hatları üzerinde ılık ve tuzlu su çıkışları mevcuttur (Küçüksünbül, 2018). Havzada tamamen mermerleri temsil edecek şekilde açılmış bir sondaj bulunmamaktadır. Ayrıca, bu mermerler göl tabanından içe akışla Bafa Gölü'nü de beslemektedir. Göl çevresindeki birimlerde yeraltı suyu akım yönü göle doğrudur.

Bafa Gölü'nün kuzeyinde geniş alanlarda yüzeyleyen gnays ve granodiyorit birimleri geçirimsizdir. Şist birimleri ise kırık ve çatlaklarında gelişen ikincil gözeneklilik nedeniyle bir miktar yeraltı suyu bulundurabilmektedir. Şist birimi ve şist-gnays dokanağı boyunca bazı noktalarda düşük debili yeraltı suyu boşalmaları gözlenmektedir.

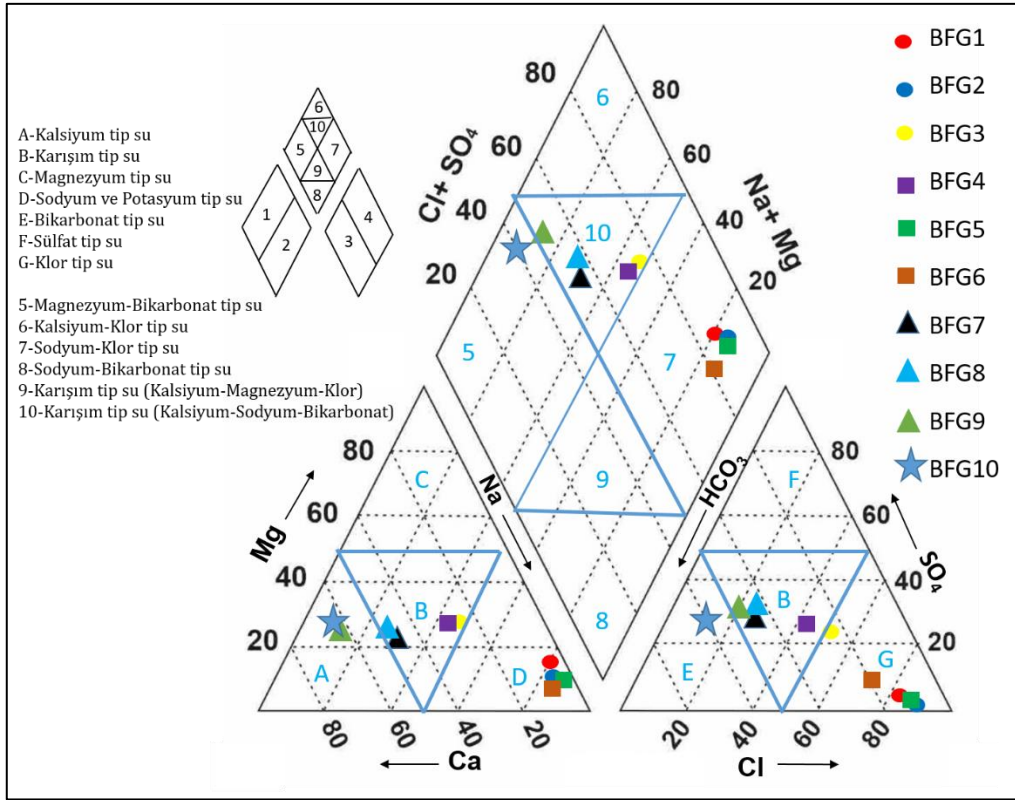
4.3. Yüzey ve Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri (Hydrogeochemical Properties of Surface and Ground Waters)

Çalışmada havzada bulunan kuyu, dere, kanal ve Bafa Gölü'nden su örnekleri alınmıştır. Su örneklerine ait analiz sonuçlarının hata yüzdesi % 5'den düşük olup kabul edilebilir değer aralığındadır. Havzada pH değeri dere sularında 5.88-7.37, kuyu sularında 5.82-7.56, kanal sularında 6.67-8.06 ve göl suyunda 8.20 olarak ölçülmüştür. EC değerleri dere sularında 270-530 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kuyu sularında 360-1010 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kanal sularında 5290- <20000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve göl suyunda 19830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ölçülmüştür (Tablo 1). Kanal sularındaki yüksek EC değeri kanal sularına karışan balık çiftliklerinin atık suları, hayvan çiftliklerinin atıkları ve Büyük Menderes nehir sularının kanala ulaşması ile ilişkilidir.

4.3.1. Major İyon İçerikleri (Major Ion Contents)

Bafa Gölü havzasında majör iyon içeriklerinin tamamının kanal sularında oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kanal sularının Na^+ içerikleri 1181-9050 mg/l, Ca^{+2} değerleri 126.6-612.4 mg/l, Mg^{+2} içerikleri 148-981 mg/l, Cl^- içerikleri 1949-17318 mg/l, SO_4^{-2} değerleri 302.9-2333 mg/l ve HCO_3^- değerleri 298.9-408.7 mg/l arasındadır (Tablo 1). Serçin civarında kanaldan alınan suların iyon içeriklerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu bölgedeki yüksek iyon içeriklerinin antropojenik kökenli olup bölgedeki balık üretim tesislerinin atık sularının kanala ulaşması ile ilgilidir. Bölgedeki balık üretim tesislerinde sıcaklıkları 24 °C ile 27 °C arasında değişen jeotermal su kullanılmaktadır. Tesislerden sadece birinde arıtma havuzu olup mevcut arıtma havuzlarında ilkel çözümlerden çökertme yöntemi uygulanmaktadır (Küçüksümbül, 2018). Bu arıtma havuzlarındaki jeotermal kökenli yeraltı suları Dalyan kanalı vasıtasıyla mevsimsel şartlara bağlı olarak Bafa Gölü'ne veya Büyük Menderes Nehrine ulaşmaktadır.

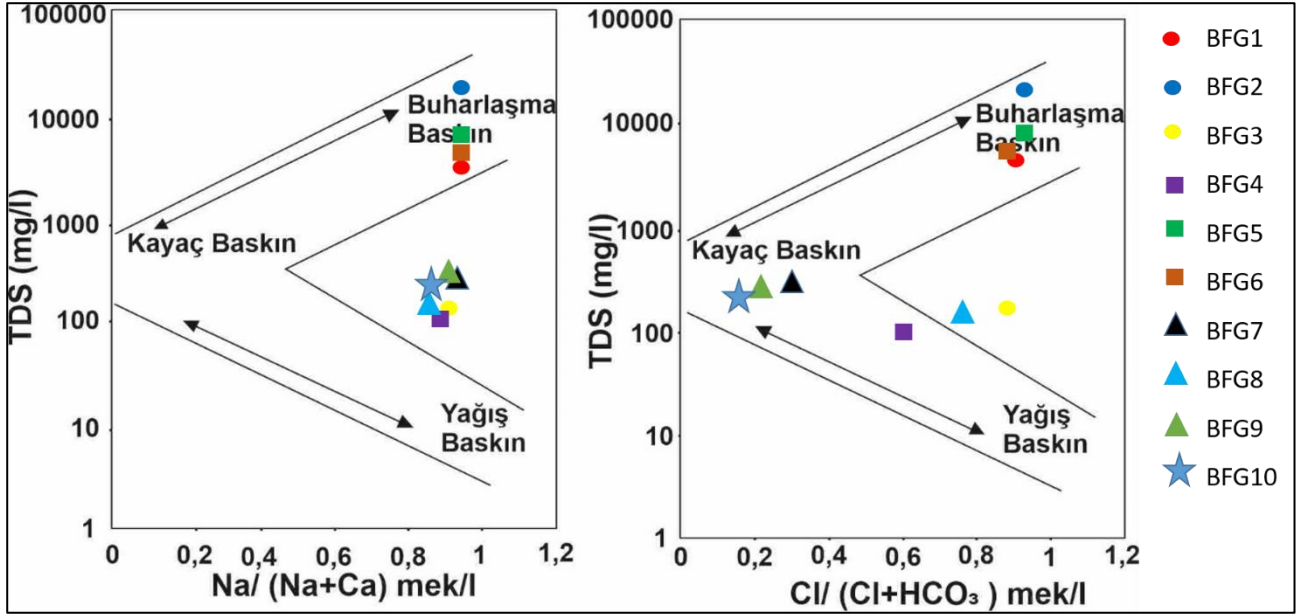
Havzada Bafa, Kapıkırı, Gölyaka ve Pınarcık köylerinde açılan kuyulardan alınan su örneklerinin Na^+ içerikleri 26.09-96.050 mg/l, Ca^{+2} değerleri 17.75-161.31 mg/l, Mg^{+2} içerikleri 11.39-34.95 mg/l, Cl^- içerikleri 57.54-87.38 mg/l, SO_4^{-2} değerleri 26.85-77.97 mg/l ve HCO_3^- değerleri 42.7-494.1 mg/l arasındadır. En düşük iyon miktarı Kapıkırı bölgesinde derinliği 15 m civarında olan kuyudan alınan yeraltı sularında tespit edilmiştir. Kuyu sularında Cl^- ve SO_4^{-2} parametrelerindeki artışların zirai mücadele ilaçları ve tarımsal gübre kullanımı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yüzey ve yeraltı sularının kimyasal yapısı suyun etkileşim halinde olduğu kayalar içindeki mineraller ve su arasında meydana gelen kimyasal süreçlerin etkilerini yansıtan "hidrojeokimyasal fasiyes" kavramı ile tanımlanabilmektedir (Back, 1966). Suların hidrokimyasal fasiyeslerinin tespitinde çoğunlukla Piper diyagramı kullanılmaktadır. Bafa Gölü havzasından alınan su örneklerinin majör iyon içerikleri Piper diyagramı üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 2). Bu diyagrama göre Bafa Gölü ve göle ulaşan kanallardan alınan su örnekleri NaCl su sınıfında olup karbonat olmayan alkalinitesi % 50'den fazla olan suları temsil etmektedir. Sulardaki Na^+ ve Cl^- artışı jeotermal kökenli sular ve antropojenik kaynakların olası etkisini yansıtmaktadır. Gölyaka, Bafa ve Kapıkırı köyleri civarında kuyu ve derelerden alınan sular ise karışım sularını yansıtmaktadır. Kapıkırı bölgesinde Na^+ baskın katyon Cl^- baskın anyon iken Gölyaka ve Bafa civarındaki dere ve kuyu sularında baskın katyon Ca^{+2} , baskın anyon ise HCO_3^- 'dir. Bu durum bu bölgede suların Bozdağ formasyonuna ait mermerler ile ilişkisini yansıtmaktadır. Pınarcık köyünde açılan kuyudan alınan yeraltı suyu ise CaHCO_3 hidrojeokimyasal fasiyeste olup karbonat akiferini temsil etmektedir.



Tablo 1. Yüze ve yeraltı sularının hidrojeokimyasal özellikleri (Hydrogeochemical properties of surface and ground waters)

Bölge		Örnek No	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁻² mg/l	EC µS/cm	pH	T °C	TDS mg/l	Su Sınıfı	%denge
Serçin	Kanal	BFG1	2818	107	223.9	365	5150	867.5	378.2		11820	8.06	18.9	5900	NaCl	-0,91
Serçin	Kanal	BFG2	9050	338	612.4	981	17318	2333	298.9		>20000	7.13	23.5	>10000	NaCl	-2,70
Kapıkırı	Kuyu	BFG3	30.28	1.03	17.75	11.39	58.54	26.85	42.70		360	5.82	14	200	NaMgCaClHCO ₃	4,21
Kapıkırı	Dere	BFG4	21.19	0.93	16.49	9.62	38.79	29.73	38.60		270	5.88	17.4	130	NaCaMgClHCO ₃ SO ₄	4,35
Kapıkırı	Göl	BFG5	4568	171	281.9	550	8502	1280	201.3	30.0	19830	8.20	18.9	9670	NaCl	-1,58
Gölyaka	Kanal	BFG6	1181	52	126.6	148	1949	302.9	408.7		5290	6.67	21.1	5290	NaCl	2,30
Gölyaka	Kuyu	BFG7	94.09	1.97	133.34	34.95	153.5	69.60	488.0		1070	7.56	17	530	CaNaMgHCO ₃ Cl	-0,39
Bafa	Dere	BFG8	28.53	7.58	68.37	18.56	55.26	42.77	244.0		530	7.37	21	270	CaMgHCO ₃ Cl	-0,59
Bafa	Kuyu	BFG9	43.67	2.43	161.31	34.67	87.38	77.97	494.1		1010	6.91	20.4	520	CaMgHCO ₃ Cl	2,70
Pınarcık	Kuyu	BFG10	26.09	5.90	122.89	31.16	57.54	44.47	427.0		780	6.60	17.9	400	CaHCO ₃	2,22

Gibbs (1970) diyagramında suda bulunan bazı iyonların oranları kullanılarak suyun bileşimi ve kökeni tanımlanabilmektedir. Bu diyagramda su kimyasını kontrol eden kayaç, buharlaşma ve atmosferik yağış gibi fonksiyonel kaynaklar hakkında bilgi edinilebilmektedir. Gibbs diyagramında kanal ve Bafa Gölü sularının “**Buharlaştırma Baskın**” bölgede yer aldığı görülmektedir (Şekil 3). Bu durum yaz aylarının kurak geçtiği bu bölgede yüzey sularının buharlaştırma baskısı altında da olduğunu ve tuzluluk artışının bununla ilişkili olabileceğini de göstermektedir. İnceleme alanındaki diğer su örnekleri Gibbs diyagramı üzerinde “**Kayaç Baskın**” bölgede bulunmaktadır. Bu durum, inceleme alanında yüzey ve yeraltı sularının kimyasal yapısını denetleyen temel faktörün kaya-su etkileşimi olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. Gibbs diyagramı (Gibbs diagram)

4.3.2. Azot Türevleri (Nitrogen Derivatives)

Doğal sularda azot çoğunlukla nitrat (NO_3), amonyum (NH_4), nitrit (NO_2), azot oksit (N_2O), organik azot ve çözülmüş azot şeklinde bulunabilmektedir (Uslu ve Türkman, 1987). Dünyada, tarımsal verimliliği artırmak için azotlu gübrelerin yoğun olarak kullanıldığı bütün bölgelerde yeraltı sularında yüksek nitrat içeriği tespit edilmiştir. Nitrat, kimyasal gübreler, hayvan atıkları, evsel-endüstriyel atık sular ve septik tanklar gibi çeşitli antropojenik kaynaklardan ve ayrıca topraktaki organik nitrojenden kaynaklanabilir (Cheong vd., 2012). Nitrat kaynaklı yeraltı suyu kirlenmesi sorunu esas olarak sığ yeraltı suyu sistemlerinde ortaya çıkar. Ancak bazı durumlarda, akış sisteminin daha derin kısımlarında da kontaminasyon meydana gelebilir. Sularda 10 mg/l'den fazla nitrat bulunması antropojenik kökenli kirleticilerin etkisini yansıtır. Nitrat için içme suyu standartlarında verilen (TS266, 2005; WHO, 2017) sınır değer 50 mg/l'dir. Bafa Gölü havzasında kanal ve göl sularının nitrat içerikleri 5.23-134.2 mg/l, kuyu sularında 3.94-72.26 mg/l arasında değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 2). Yüzey sularındaki yüksek nitrat içeriği endüstriyel ve evsel atık sular ile ilişkilidir. Bafa Gölü havzasında açılan kuyular genellikle sığ olup yüksek nitrat içeriği kimyasal gübre ve hayvan atıklarının kullanımı ile ilişkilendirilebilir.

Amonyum yeraltı ve yüzey sularında doğal olarak 0.2 mg/l'nin altında olup anaerobik yeraltı suları 3 mg/l'ye kadar içerebilir (WHO, 2017). Sudaki amonyum, olası bakteri, kanalizasyon ve hayvan atıkları kirliliğin bir göstergesidir. Bafa Gölü havzasında yüzey ve yeraltı sularındaki amonyum içeriği <0.06-1.06 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 2). Yüksek değerler kanal ve dere sularında tespit edilmiştir.

4.3.4. Toksik Ağır Metaller (Toxic Heavy Metals)

Ağır metaller veya iz elementler yeryüzünde doğal olarak bulunurlar. Ancak, insan faaliyetleri ve kaya-su etkileşimine bağlı olarak toprak ve sularda yoğunlaşarak toksik etki oluşturabilirler. Ağır metal artışları çoğunlukla madencilik, endüstriyel atıklar, gübreler, tarım ilaçları, boyalar vb. antropojenik etkenlerle toprak veya suya karışırlar. Bu çalışmada su örneklerinin Al, As, B, Ba, Br, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn analizleri Tablo 2'de verilmiştir. Kanal ve Bafa Gölü sularında bütün iz element içeriklerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 2. İnceleme alanında yüzey ve yeraltı sularının ağır metal ve azot türevleri
(Heavy metal and nitrogen derivatives of surface and ground waters in the study area)

Bölge		Örnek No	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	NH ₄ mg/l	PO ₄ mg/l	Al µg/l	As µg/l	B µg/l	Ba µg/l	Br µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l
Serçin	Kanal	BFG1	63.72	<0.01	0.77	<0.05	<600	<3000	1823	87		<300	<300	<80	<10000	257	<300	<4000	<300
Serçin	Kanal	BFG2	90.46	<0.01	0.09	<0.05	<600	<3000	4164	<80		<300	<300	<80	<10000	509	<300	<4000	<300
Kapıkırı	Kuyu	BFG3	3.94	0.04	<0.06	<0.05	43	3.3	34	30.86	186	2.99	1.4	2.7	4293	382.97	3.6	0.4	142
Kapıkırı	Dere	BFG4	20.05	<0.01	0.09	<0.05	14	4.5	25	18.97	101	0.13	0.6	0.9	39	9.08	2.5	<0.2	3
Kapıkırı	Göl	BFG5	134.2	<0.01	0.07	<0.05	<600	<3000	2529	<80		<300	<300	<80	<10000	<50	<300	<4000	<300
Gölyaka	Kanal	BFG6	5.23	<0.01	1.06	0.47	<600	<3000	851	83		<300	<300	<80	<10000	456	<300	<4000	<300
Gölyaka	Kuyu	BFG7	5.84	0.09	0.06	<0.05	6	8.5	40	67.33	506	0.14	1.0	1.4	9096	155.48	<0.2	0.9	19.3
Bafa	Dere	BFG8	10.49	0.21	0.61	<0.05	23	11.3	58	31.26	137	1.01	0.8	1.2	862	248.35	1.7	<0.2	3.5
Bafa	Kuyu	BFG9	47.07	<0.01	0.07	<0.05	22	8.7	35	103.96	296	0.13	2.6	1.3	37	2.09	0.3	0.3	48.2
Pınarcık	Kuyu	BFG10	72.26	<0.01	0.10	<0.05	16	8.0	32	42.92	134	0.08	0.9	0.9	41	2.34	0.5	<0.2	5.1
TS266, 2005			50	0.50	0.50	--	200	10	1000	--	--	--	50	2000	200	50	20	10	--
WHO, 2017			50	3	--	--	--	10	2400	1300	--	--	50	2000	--	--	70	10	--

Kapıkırı ve Gölyaka'daki kuyu sularının Fe ve Mn içeriklerinin de TS266 (2005) ve WHO (2017) standartlarından yüksektir. Fe ve Mn yeraltı sularında kaya-su etkileşimine bağlı olarak yaygın şekilde bulunan ağır metallere aittir. Havzada Gölyaka ve Kapıkırı köyleri civarında bulunan kuyularda yüksek konsantrasyonlarda Fe ve Mn tespit edilmiştir. Alüvyon akiferde açılmış olan bu kuyuların derinlikleri düşüktür. Bölgede yeraltı sularında yüksek Fe ve Mn içeriklerinin antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir. Yeraltı sularında yüksek oranda çözülmüş Fe ve Mn jeotermal kökenli su etkileşimi, kanalizasyon ve depolama suyu sızıntıları, endüstriyel atıklar, tarımsal faaliyetler vb. etkileşimler ile ilişkilidir.

Bafa Gölü ve göle ulaşan kanal sularında yüksek konsantrasyonlarda tespit edilen Al, As, B, Cr, Fe, Mn, Ni ve Pb elementlerinin göl kirliliği ve kalitesi üzerinde yüksek derecede olumsuz etki oluşturduğu söylenebilir. Bu ağır metallerdeki artışların genel olarak havza içerisinde bulunan ve Söke Alt havzasından Bafa Gölü'ne ulaşan Dalyan kanalına boşaltılan endüstriyel atık sular, jeotermal kökenli sular, kanalizasyon suları ve yağ üretim tesislerinin atık sularının kanallar vasıtasıyla göle ulaşması ile ilgilidir.

4.4. Suların Sınıflandırılması ve Kalite Özellikleri

Bafa Gölü havzasında yüzey ve yeraltı suları genel olarak sulama suyu amacıyla kullanılmaktadır. Havzada yüzey ve yeraltı sularının sınıflandırılması ve kalite özelliklerinin belirlenmesinde 2004 yılında 25687 sayılı resmi gazete ile yürürlüğe giren "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği"nde verilen "Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" kullanılarak yapılmıştır. Söz konusu kriterler ile Bafa Gölü suyu, göle ulaşan kanal suları, dere suları ve kuyulardan elde edilen yeraltı suları için ayrı ayrı değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Bafa Gölü suları sıcaklık, pH, amonyum, nitrit, cıva, baryum ve alüminyum parametreleri açısından **I. su kalite** sınıfında olmasına rağmen, Çinko ve mangan parametreleri açısından **II. su kalite**, bakır parametresi açısından **III. su kalite** sınıflarında yer almaktadır. Ancak, Bafa Gölü toplam çözülmüş madde, Cl, SO₄, NO₃, Na, Cd, Pb, As, Cr, Ni, Fe ve B parametreleri için **IV. su kalite** sınıfındadır (Tablo 3). Göle ulaşan kanal suları sıcaklık, pH, nitrit, Ba ve Al parametreleri açısından **I. su kalite** sınıfında, amonyum, nitrat, Zn ve Mn parametreleri için **II. su kalite**, bakır parametresi açısından **III. su kalite**, toplam çözülmüş madde, Cl, SO₄, NO₃, Na, Cd, Pb, As, Cr, Ni, Fe ve B parametreleri için **IV. su kalite** sınıfında yer almaktadır.

Havzada bulunan ve Bafa Gölü'ne ulaşan derelerden alınan sular sıcaklık, pH, toplam çözülmüş katı madde, NO₂, Na, Hg, Cd, Pb, As, Cu, Cr, Ni, Zn, Ba ve Al parametreleri açısından **I. su kalite** sınıfındadır. Derelerde farklı değerlerin tespit edilmesi nedeniyle SO₄, Fe ve Mn parametreleri için **I. ve II. su kalite sınıfları**, B parametresi için **I. II. ve III. su kalite** sınıfları gözlenmiştir. Derelerde sadece nitrit değeri için **IV. su kalite** sınıfı limit değerlerini yansıtmaktadır.

Gölyaka, Bafa ve Kapıkırı köyleri civarında sığ kuyulardan alınan yeraltı suları ise sıcaklık, toplam çözülmüş katı madde, NH₄, Na, Hg, Cd, Pb, As, Cu, Cr, Ni, Zn, Ba ve Al parametreleri açısından **I. su kalite** sınıfındadır. Sülfat ve Mn parametreleri açısından **I. ve II. su kalite** değerleri tespit edilmiştir. Nitrit için **I., III. ve IV. su kalite**, nitrat için **I. ve IV. su kalite**, Fe için **I., II. ve IV. su kalite**, Mn için **I. ve II. su kalite** sınıfları ile B elementi için **I., II. ve III. su kalite** sınıfını temsil eden değerler tespit edilmiştir. Yeraltı sularının pH değeri **IV. su kalite** sınıfındadır.

Bafa Gölü havzasında kuyu ve dere suları sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Bu suların sulama suyu olarak kullanılabilirliği Wilcox ve ABD Tuzluluk diyagramları, Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Geçirgenlik İndeksi (PI), Kelly Oranı (KR) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) değerleri kullanılarak yapılmıştır.

Wilcox diyagramına göre Kapıkırı ve Pınarcık kuyu suları ile Kapıkırı ve Bafa dere suları "Çok iyi kullanılabilir" sular sınıfında, Gölyaka ve Bafa kuyu suları "İyi kullanılabilir" sulama suları sınıfında yer almaktadır. Kanal ve göl suları ise "Şüpheli kullanılabilir ve Sulamaya uygun değil" sınıflarındadır. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre Kapıkırı kuyu ve dere suları ile Bafa Dere suları **C₂S₁** (Orta tuzlulukta, Az sodyumlu su) sınıfında, Gölyaka, Bafa ve Pınarcık kuyu suları **C₃S₁** (Fazla tuzlu, Az sodyumlu su) sınıfında, Serçin kanal suyu **C₃S₄** (Fazla tuzlu, Çok fazla sodyumlu) ve Serçin kanal-dere karışımı olan 2 nolu örnek ile Bafa Gölü suyu ve Gölyaka kanal suyu **C₄S₄** (Çok fazla tuzlu, Çok fazla sodyumlu) sınıfı suları temsil etmektedir (Şekil 4a, 4b).

Sulama sularında Na⁺ artışı toprağın yapısını bozarak geçirgenliğini azaltmaktadır. SAR değeri ile sulama suyuna uygunluk değerlendirilebilmektedir. SAR değeri 10'un altında olan sular "Çok iyi özellikte sulama suları", SAR değeri 10-18 arasında "İyi özellikte sulama suları", 18-26 arasında olanlar "Orta özellikte sulama suları" ve 26'dan büyük değerler "Kötü özellikte sulama suları" olarak tanımlanmaktadır (Şahinci, 1991; Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Bafa Gölü havzasında Serçin civarı kanal ve Bafa Gölü sularının SAR değeri 26'dan büyük olup "Kötü özellikte sulama suları" sınıfındadır. Gölyaka kanal suyu "İyi özellikte sulama suları", diğer kuyu ve dere suları ise "Çok iyi özellikte sulama suları" sınıfında yer almaktadır.

Tablo 3. Su kalite sınıfları (Water quality classes)

PARAMETRELER	Bafa Gölü				Dereler				Yeraltısuları				Kanal suları			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
<i>Fiziksel ve inorganik- kimyasal</i>																
Sıcaklık (°C)																
pH																
Toplam çözülmüş madde (mg/L)																
Klorür iyonu (mg Cl ⁻ /L)																
Sülfat iyonu (mg SO ₄ ⁻ /L)																
Amonyum azotu (mg NH ₄ ⁺ -N/L)																
Nitrit azotu (mg NO ₂ ⁻ -N/L)																
Nitrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/L)																
Sodyum (mg Na ⁺ /L)																
<i>Inorganik kirlenme parametreleri^d</i>																
Civa (µg Hg/L)																
Kadmiyum (µg Cd/L)																
Kurşun (µg Pb/L)																
Arsenik (µg As/L)																
Bakır (µg Cu/L)																
Krom (toplam) (µg Cr/L)																
Nikel (µg Ni/L)																
Çinko (µg Zn/L)																
Demir (µg Fe/L)																
Mangan (µg Mn/L)																
Bor (µg B/L)																
Baryum (µg Ba/L)																
Alüminyum (mg Al/L)																

PI değeri suların Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ ve HCO₃⁻ değerleri kullanılarak ampirik formül ile hesaplanan ve sulama suyu sınıflamasında kullanılan bir parametredir. PI değerine göre üç sınıf ayırt edilmekte olup I. ve II. sınıf sular iyi sulama sularıdır (WHO, 1989; Aghazadeh ve Mogaddam, 2011). Bafa Gölü havzasında göl ve kanal sularının PI değeri %75'den büyük olup III. sınıf suları temsil etmektedir. Kuyu ve dere sularının PI değerleri %25-75 arasındadır (Tablo 4) ve II. sınıf suları yansıtır.

MT suların Mg²⁺ ve Ca²⁺ değerlerine göre hesaplanan bir değerdir. MT değeri 50 mek/l'den küçük ise sulamaya elverişli suları, büyük ise sulama suyu olarak kullanıma uygun olmayan suları temsil etmektedir (Szabolcs ve Darab, 1964). Kapıkırı ve Bafa dere suları ile Gölyaka, Bafa ve Pınarcık kuyu suları 50 mek/l'nin altında olup magnezyum tehlikesi açısından sulamaya uygun sulardır (Tablo 4). Kanal ve göl suları ise sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir.

KR oranı suların Mg²⁺, Ca²⁺ ve Na⁺ içeriklerine göre belirlenmektedir. KR değeri 1'in altında ise sulama suyuna uygun sular olarak tanımlanmaktadır (Kelley, 1963). Suda yüksek miktarda Na⁺ bulunursa bu oran 1'den büyük değerler almaktadır. Havzada kanal ve Bafa Gölü sularının KR değerinin 1'den büyük olduğu görülmektedir (Tablo 4). Diğer dere ve kuyu sularını KR değeri 1'den küçük olup sulamaya elverişlidir.

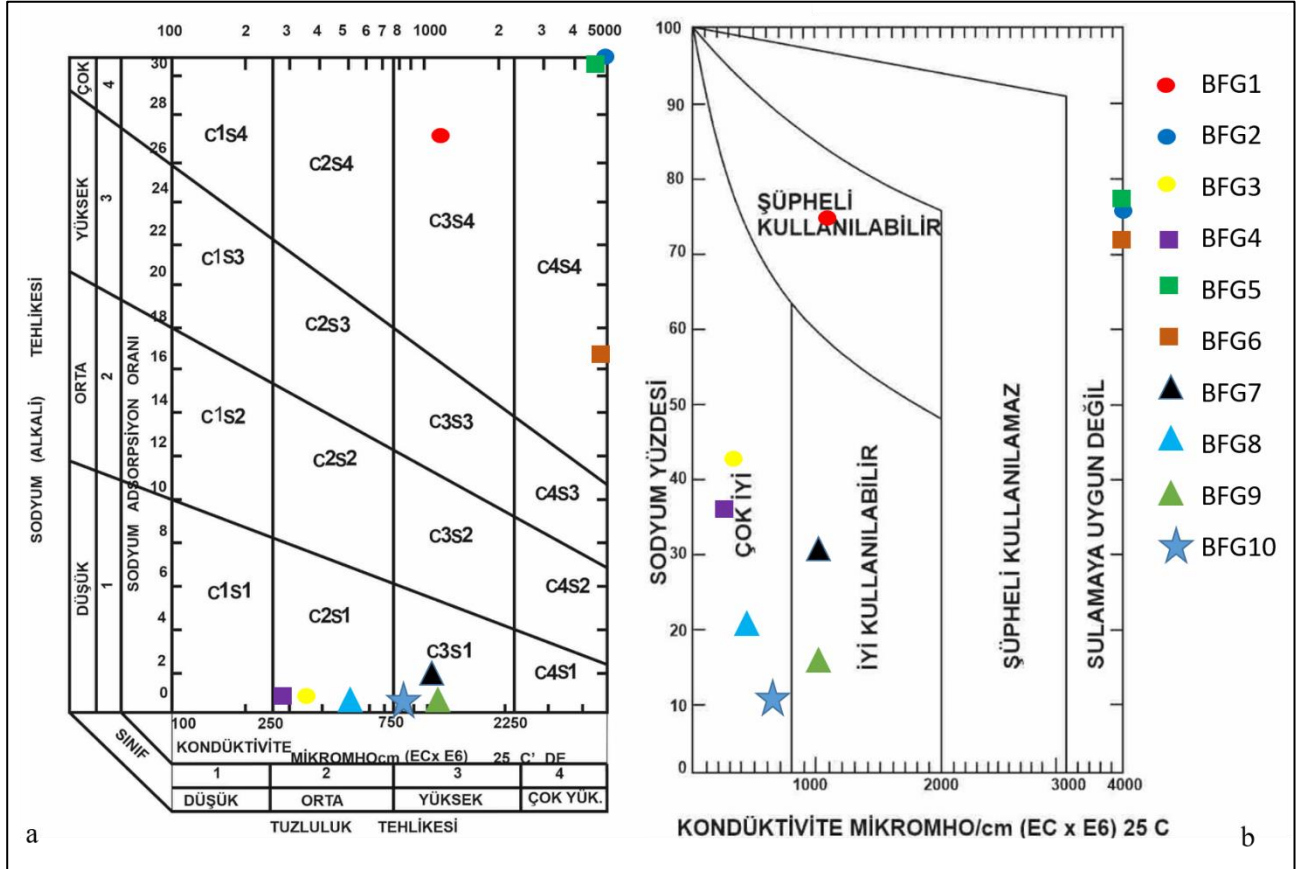
5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bafa Gölü havzası, Büyük Menderes Havzası'nın Söke-Aydın Alt Havzası içerisinde yer almaktadır. Havzada Menderes metamorfiklerine ait gnays, mermer, şist, kuvarsit, kalkşist ve meta-serpantinler yüzeylenmektedir. Dere yatakları ve ovalık alanlarda Kuvaterner yaşlı alüvyon gözlenir. Havzada sınırlı bir alanda yayılım gösteren alüvyonlar gözenekli ve yüksek geçirgenliğe sahip akifer özelliği taşımaktadır. Alüvyon akiferde sulama ve içme suyu amaçlı açılmış sondaj kuyuları bulunmaktadır. Bafa Gölü güneyinde yer alan Menderes Masifi mermerleri ise karstik akifer özelliği taşımaktadır. Şist birimleri ise kırık ve çatlaklarında gelişen ikincil gözeneklilik nedeniyle bir miktar yeraltı suyu bulundurabilmektedir. Bafa Gölü'nün kuzeyinde geniş alanlarda yüzeyleyen gnays ve granodiyorit birimleri ise geçirimsizdir.

Havzada Bafa Gölü, göle ulaşan kanal ve dere suları ile kuyu sularından örnekler alınmıştır. EC değerleri dere sularında 270-530 µS/cm, kuyu sularında 360-1010 µS/cm, kanal sularında 5290-<20000 µS/cm ve göl suyunda 19830 µS/cm ölçülmüştür. Bafa Gölü ve göle ulaşan kanallardan alınan su örnekleri NaCl su sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Sulardaki yüksek Na⁺ ve Cl⁻ içeriği kanallara boşaltılan endüstri tesislerinde kullanılmış jeotermal kökenli sular ve antropojenik kaynakların olası etkisini yansıtmaktadır. Gölyaka, Bafa ve Kapıkırı köyleri civarında kuyu ve derelerden alınan sular ise karışım sularını yansıtmaktadır. Gölyaka ve Bafa civarındaki dere ve kuyu

sularında baskın katyon Ca^{+2} , baskın anyon ise HCO_3^- 'dir. Bu durum bu bölgede suların mermerler ile ilişkisini yansıtmaktadır.

Bafa Gölü havzasında yüzey sularındaki yüksek nitrat içeriği endüstriyel ve evsel atık sular ile ilişkilidir. Sığ kuyulardan alınan yeraltı sularındaki nitrat artışı ise kimyasal gübre ve hayvan atıklarından kaynaklanmaktadır. Çalışma kapsamında su örneklerinin Al, As, B, Ba, Br, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn analizleri yapılmıştır. Kanal ve Bafa Gölü sularında bütün iz element içeriklerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu ağır metallerdeki artışlar genel olarak havza içerisinde bulunan ve Söke Alt havzasından Bafa Gölü'ne ulaşan Dalyan kanalına boşaltılan atık sulardan kaynaklanmaktadır. Kapıkırı ve Gölyaka'daki kuyu sularında tespit edilen yüksek Fe ve Mn içeriklerinin de antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4a. ABD Tuzluluk Laboratuvarı 4b. Wilcox diyagramı (4a. U.S. Salinity Laboratory Diagram, 4b. Wilcox diagram)

Tablo 4. Sulama suyu sınıflamasında kullanılan parametreler (Parameters used in irrigation water classification)

Örnek No	SAR	%Na	PI	MT	KR
BFG1	27.00	73.61	76.36	72.87	2.97
BFG2	52.76	76.65	78.40	72.53	3.54
BFG3	1.38	41.59	68.59	51.40	0.72
BFG4	1.03	36.00	67.71	49.02	0.57
BFG5	36.48	75.72	77.71	76.28	3.35
BFG6	16.89	72.15	77.23	65.83	2.78
BFG7	1.87	29.93	50.80	30.17	0.43
BFG8	0.79	19.47	52.44	30.91	0.25
BFG9	0.81	14.76	37.07	26.16	0.17
BFG10	0.54	11.37	38.45	29.47	0.13

Havzada yüzey ve yeraltı sularının "Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" kullanılarak sınıflandırılmıştır. Farklı parametrelere göre farklı su tipleri tespit edilmiş olup kanal ve Bafa Gölü sularının genel olarak IV. su kalite sınıfında olduğu söylenebilir. Havzada dere, kuyu ve kanal suları sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Bu suların sulama suyu olarak kullanılabilirliği Wilcox ve ABD Tuzluluk diyagramları ile Sodyum

Adsorpsiyon Oranı (SAR), Geçirgenlik İndeksi (PI), Kelly Oranı (KR) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Genel olarak kanal sularının sulama suyu olarak kullanıma uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2022-8632 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Aghazadeh, N., Mogaddam, A., 2011. Investigation of Hydrochemical Characteristics of Groundwater in the Harzandat Aquifer, Northwest of Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176, 183–195
- Akat, U., Öztürk, E.M., Öztürk, Z., Çağlayan, A., 1975. Menderes Masifi Güneyi GB Toros Kuşağı İlişkisi: MTA Raporu, No. 5488, 58s., Ankara
- Akçer Ön, S., 2011. Küçükçekmece Lagünü, Yeniçağa, Uludağ Buzul Ve Bafa Gölleri'nin (Batı Türkiye) Geç Holosen'deki İklim Kayıtları: Avrupa ve Orta Doğu İklim Kayıtları İle Karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora tezi, 199 s
- Algül, F., Beyhan, M., 2018. Bafa Gölü'nde Sediman ve Su Kalitesinin Ağır Metaller Açısından Değerlendirilmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2), 128–138, <https://doi.org/10.30516/bilge.sci.413824>
- Algül, F., Beyhan, M., 2020. Concentrations and Sources of Heavy Metals in Shallow Sediments in Lake Bafa, Turkey. *Scientific Reports*, 10:11782, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68833-2>.
- Back, W., 1966. Hydrochemical Facies and Ground-Water Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain, 498-A, 1-42.
- Başarır, E., 1970. Bafa Gölü Doğusunda Kalan Menderes Masifi Güney Kanadının Jeolojisi ve Petrografisi, Ege Üniversitesi Yayınları, 102, İzmir.
- Başarır, E., 1975. Çine Güneyindeki Metamorfitlelerin Petrografisi ve Bireysel İndeks Minerallerin Doku İçerisindeki Gelişimleri. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Boray, A., Akat U., Akdeniz, N., Akçaören, Z., Çağlayan, A., Günay, E., Korkmazer, B. Öztürk, E. M., Sav, H., 1973. Menderes Masifinin Güney Kenarı Boyunca Bazı Önemli Sorunlar ve Bunların Muhtemel Çözümleri, Cumhuriyetin 50 Yılı Yerbilimleri Kongresi, 11-20, Ankara.
- Cheong, J.Y., Hamm, S.Y., Lee, J.H., Lee, K.S., Woo, N.C., 2012. Groundwater Nitrate Contamination and Risk Assessment in an Agricultural Area, South Korea. *Environmental Earth Sciences*, 66:1127–1136
- Dora, O.Ö., Kun, N., Candan, O., 1992. Menderes Masifi'nin Metamorfik Tarihçesi ve Jeotektonik Konumu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C35: 1-14.
- Dürr, S., 1975. Über Alter und geotektonische Stellung des Menderes– Kristallins /SW-Anatolien und seine Aequivalente in der mittleren Aegaeis. PhD Thesis, Univ. Marburg/Lahn, Germany. 106 pp.
- Ercan, T., Akat, U., Günay, E., Savaşçın, Y., 1985. Söke-Selçuk-Kuşadası Dolaylarının Jeolojisi ve Volkanik Kayaçların Petrokimyasal Özellikleri. *Maden Teknik ve Arama Dergisi*, 105/106, 15-38.
- Erguvanlı, K., Yüzer, E., 1987. Yeraltıları Jeolojisi. İTÜ Maden Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Erol, O., 1996. Büyük Menderes Deltasının Foto-Jeomorfolojik İncelenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 9, 1–42.
- Gibbs, R.J., 1970. Mechanism Controlling World Water Chemistry. *Science*, 170, 795-840.
- Hakyemez, H. Y., Erkal, T., Göktas, F., 1999. Late Quaternary Evolution of the Gediz and Büyük Menderes Grabens, Western Anatolia, Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 18(4-5), 549-554.
- Hetzl, R., Reischmann, T., 1996. Intrusion Age of Pan-African Augen Gneisses in the Southern Menderes Massif and the Age of Cooling After Alpine Ductile Extensional Deformation. *Geological Magazine*, 133(5), 565-572.
- Kelley, W.P., 1963. Use of Saline Irrigation Water *Soil Science*, 95(4), 355-391
- Knipping, M., Müllenhoff, M., Brückner, H., 2008. Human Induced Landscape Changes Around Bafa Gölü (Western Turkey). *Vegetation History and Archaeobotany*, 17(4), 365-380.
- Küçüksümbül, A., 2018. Söke Ovası ve Bafa Gölü Çevresinin Hidrojeolojik İncelenmesi: Jeotermal Potansiyeli, Toprak ve Su Kirliliği. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 193 s., İzmir.
- Küçüksümbül, A., Toygar, Akar., Tarcan, G., 2020. Bafa Gölü'nün Hidrokimyasal ve Hidrojeolojik İncelenmesi: Sürdürülebilir Su Kaynak Yönetimi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 44(2), 195-222.

- McKenzie, D., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal International*, 55(1), 217-254.
- MTA, 2009. 1/500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Denizli paftası, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara
- Öztürk, A., Koçyiğit, A., 1983, Menderes Grubu Kayalarının Temel-Örtü İlişkisine Yapısal Bir Yaklaşım (Selimiye-Muğla), *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, C. 26, 99-106.
- Somay, M. A., Gemici, U., 2012. Groundwater Quality Degradation in the Büyük Menderes River Coastal Wetland. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(1), 15-27.
- Süer, S., 2017. Bafa Gölü'ne Ait Genç Çökellerin ve Çevre Florasının Karbon, Hidrojen, Azot İzotopik Bileşimi ve Holosen Ekosistemi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans tezi, 113 s., İstanbul
- Szabolcs, I., Darab, C., 1964. The Influence of Irrigation Water of High Sodium Carbonate Content on Soils. In I. Szabolcs (Ed.), *Proc 8th International Congress Soil Science Sodics Soils*, Res Inst Soil Sci Agric Chem Hungarian Acad Sci, ISSS Trans II, 1964, 802-812.
- Şahinci, A., 1991. Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, 546, İzmir.
- Şimşek, Ş., 2003. Hydrogeological and Isotopic Survey of Geothermal Fields in the Buyuk Menderes Graben, Turkey. *Geothermics* 32, 669-678.
- TS266, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü -Ankara.
- Uslu, O., Türkman, A., 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınlar Eğitim Dizisi, Ankara, 364s.
- Vengosh, A., Helvacı, C., Karamanderesi, I. H., 2002. Geochemical Constraints for the Origin of Thermal Waters from Western Turkey. *Applied Geochemistry*, 17(3), 163-183.
- WHO, 1989. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. In: Report of a WHO Scientific Group: Technical Report Series 778, WHO, Geneva, p 74
- WHO, 2017. Guidelines for Drinking-Water Quality, Fourth Edition Incorporating the First Addendum, World Health Organization, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, ISBN 978-92-4-154995-0
- Yılğör, S., 2012. Bafa Gölü Sedimanlarındaki Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 75 s., İzmir
- Yılmaz, E., Koç, C., 2014. Research on Water Quality of Lake Bafa in Turkey. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 13(1).



YER RADARI VERİLERİNDE YANAL YANSIMALARIN GÖÇ VE TERSİNE GÖÇ İŞLEMİ İLE ATILMASI

İsmail KAPLANVURAL*

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Umuttepe Kampüsü, İzmit, Kocaeli, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yer Radarı,
Yanal Yansıma,
Göç,
Test Modeli,
Tersine Göç.

Öz

Bu çalışmada yer radarı verilerinden yanall yansımaların arındırılması için yeni bir yöntem önerilmektedir. Uygulanan yöntem birkaç adımda gerçekleştirilmektedir. Bunlar göç, yanall yansıma genliklerin toplandığı yerlerin sıfırlanarak veriden atılması ve son olarak tersine göç işlemleridir. Bu çalışmada da önerilen işlem dizisi laboratuvarında bir kum havuzu içerisinde gömülü bir boru üzerinde toplanan yer radarı profilinde gösterilmiştir. Gömülü borunun oluşturduğu yansımanın haricinde kum havuzu ve kum havuzunun iki yan tarafındaki hava sınırının oluşturduğu yansımalar da gözlemlenmiştir. Yanall yansımalar, önce göç, işlemi ile gerçek yansıma yerlerine taşınmış, taşınan yerlerin genlikleri sıfırlanarak veriden atılmış ve en son tersine göç işlemi ile veri yanall yansımalarından arındırılmış haline dönüştürülmüştür. Bu sayede yanall yansımalar veriden arındırılarak gömülü borunun oluşturduğu yansıma daha iyi görüntülenmiştir. Ayrıca, yanall yansımalar içeren bir modelleme verisine de benzer adımlar uygulanmış ve yanall yansımalar veriden arındırılmıştır. Önerilen yöntemin muhtemel yanall yansımaların verilerden arındırılması adına duvarlara veya ağaçlara yakın olan yerlerdeki yer radarı profilleri ile bina içinde yapı unsurlarının tespit edilmesine yönelik yer radarı uygulamalarında kullanılması önerilmektedir.

ELIMINATING THE SIDE REFLECTION ON GPR DATA BY MIGRATION AND DEMIGRATION

Keywords

Ground-penetrating Radar,
Side Reflection,
Migration,
Test Model,
Demigration.

Abstract

In this study, a new method is suggested to eliminate side reflections. The suggested method is consisted of couple of steps. These steps are: migration, muting the collected amplitudes of side reflections after migration and demigration. In order to achieve that on a ground-penetrating radar (GPR) profile, an experimental laboratory model was built. The model was filled with dry sand with a buried pipe to obtain reflection on GPR profile. Side reflections from both sides were also observed on the radargram, which are caused by the boundary of experimental model and air interference. The side reflections were removed from the radargram by suggested steps accordingly. These are; moving side reflections to real reflection locations by migration, muting the amplitudes of side reflections at real locations, and demigration of data to obtain it without side reflections. The reflection of pipe was seen clearer after side reflection is eliminated. Also, same procedure was applied to a modeled data to eliminate side reflections. The suggested method can be applied to radargrams to eliminate side reflections such GPR surveys, when data is collected near trees or walls. Additionally, the suggested method can be helpful to eliminate side reflections on non-destructive testing applications in buildings.

Alıntı / Cite

Kaplanvural, İ., (2023). Yer Radarı Verilerinde Yanall Yansımaların Göç ve Tersine Göç İşlemi ile Atılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 160-169.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

İ. Kaplanvural, 0000-0003-2898-4657

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date

14.03.2022

* İlgili yazar / Corresponding author: kaplanvural@kocaeli.edu.tr, +90-262-303-31-25

Revizyon Tarihi / Revision Date	25.08.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	30.09.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

ELIMINATING THE SIDE REFLECTION ON GPR DATA BY MIGRATION AND DEMIGRATION

İsmail Kaplanvural[†]

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Umuttepe Kampüsü, İzmit, Kocaeli 41001

Highlights

- A new method presents eliminating side reflections on GPR data.
- GPR data collected from experimental laboratory model to eliminate side reflections.
- A forward GPR data model supports applicability of method.
- The method can be helpful to eliminate side reflections for non-destructive testing applications.

Purpose and Scope

The aim of this study is to present a new approach to eliminate side reflections on GPR data.

Design/methodology/approach

The removal of side reflections on GPR data is consisted of couple of steps. These steps are: migration, muting the collected amplitudes of side reflections after migration and demigration. In order to achieve that on a ground-penetrating radar (GPR) profile, an experimental laboratory model was built. Additionally, a forward modeling GPR data is presented to support applicability of the method.

Findings

The reflection of pipe is seen clearer after removal of side reflections on GPR data. Additionally, same effect is observed forward modelled GPR data, which supports the usability of the method. The suggested method can be applied to radargrams to eliminate side reflections for GPR data, when data is collected near trees or walls. Additionally, the suggested method can be helpful to eliminate side reflections on non-destructive testing applications in buildings.

Originality

The paper is presented to eliminate side reflections on GPR data with following steps: migration, muting and demigration. This approach was not yet addressed in the literature. The novelty of this study is to present a new method to eliminate side reflections.

[†] Corresponding author: kaplanvural@kocaeli.edu.tr, +90-262-303-3125

1. Giriş (Introduction)

Yer radarı yöntemi yer altınının sığ kesimini incelemek için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Tahribatsız inceleme olanağı da sağlayan yer radarı yöntemi incelenen yapı ile ilgili özelliklerin belirlenmesine de olanak sağlamaktadır (Kaplanvural 2021). Son yıllarda yer altındaki yapısal unsurların belirlenmesinde yer radarı yönteminin kullanılması giderek artmaktadır (Prego vd., 2017). Başta mühendislik (Kadioğlu, 2018), arkeoloji (Kadioğlu, 2010; Balkaya vd., 2018) ve çevre (Özkap ve Pekşen, 2021) uygulamaları olmak üzere yeraltının görüntülenmesinde yer radarı yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Yer radarı verilerinin değerlendirilmesi amaca yönelik olarak veri işlem aşamaları ile yapılmaktadır (Benedetto vd., 2017; Plattner, 2020). Ayrıca düz (Özkap vd., 2020) ve ters çözüm (Kaplanvural vd., 2020) yöntemleri de yer radarı verilerinin değerlendirilmesinde veri işlem aşamasına katkı sağlamaktadır. Yer radarı verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan veri işlem yöntemleri, sismik yansıma verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan işlemlerle çok benzerdir (Ciampoli vd., 2019). Yer altındaki yapının şekli ve geometrisini veri işlem yöntemlerinden biri olan göç (migrasyon) yöntemi ile belirlemek mümkündür (Smitha vd., 2016; Özdemir vd., 2014). Göç, alıcı anten tarafından zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedilen elektromanyetik dalgaların yansıma noktalarına taşınması işlemidir (Yılmaz, 2001). Yer altı yapısı karmaşık olmasa bile tespit edilmesi istenen gömülü yapının şekli ile ilgili yorum yapabilmek için göç işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Göç işlemi gerçekleştirilebilmek için yer altında ilerleyen elektromanyetik dalganın hız bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır (Zhou vd., 2005).

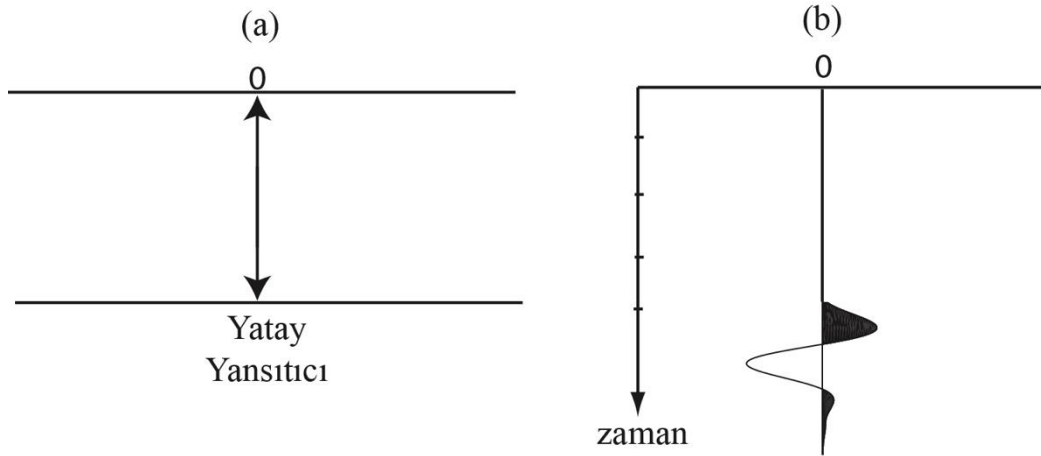
Yer radarı profillerinde aranan objenin oluşturduğu yansımalar haricinde cihaz kaynaklı düşük frekanslı gürültülere, çevredeki elektromanyetik kökenli gürültülere (cep telefonu sinyali vb.) ve yanal yansımalara rastlanılabilmektedir. Yer radarı verilerinde sıklıkla rastlanan, istenmeyen ve gürültü olarak nitelendirilen yanal yansımalar, dalganın ilerlediği ortamda meydana gelen ani dielektrik özelliklerindeki değişimlerinden kaynaklanmaz. Ölçüm hattının başında ve sonunda var olan objelerden (duvar yapısı vb.) ya da ortam sınırlarından (boşluk vb.) kaynaklanmaktadır. Yanal yansımaların radargramlardaki görüntüsü profillerin başlangıç ya da bitiş noktalarından profilin iç kısımlarına doğru uzanan sabit eğimli genliklerden oluşmaktadır. Yanal yansımaların radargramlardan atılması genellikle eğim filtresi (dip filter) ile yapılmaktadır (Zhang vd., 2019). Fakat, radargramlarda yer altındaki bir objenin saçılma hiperbolü oluşturduğunda ve yanal yansımanın birlikte gözlemlendiği durumlarda eğim filtresi kullanmak sakıncalıdır. Hem yansıtıcıdan hem de yanal yansımayı oluşturan objeden yansıyan dalga yeraltında aynı hızda ilerlediğinden radargramda ki objenin oluşturduğu saçılma hiperbolünün kollarının eğimi ile yanal yansımanın eğimi aynı olarak gözlenecektir. Bu durumda eğim filtresi uygulandığında yanal yansıma ile birlikte saçılma hiperbolünün eğimle aynı yönde olan kolu da istenmeden veriden atacaktır (Zhang vd., 2019).

Bu çalışmada yanal yansımaların radargramlardan atılması işlemi için eğim filtresi dışında göç ve tersine göç işlemleri önerilmektedir. Bu amaçla oluşturulan bir test modeli üzerinde alınan yer radarı profilinde oluşan yanal yansımalar göç işlemi ile önce gerçek yerlerine taşınmıştır. Sonrasında gerçek yerlerine taşınan yanal yansımaların genliklerinin sıfırlanarak veriden atılmıştır. Daha sonra ise tersine göç uygulanarak yer radarı profili yanal yansımadan arındırılmış bir şekilde görüntülenmiştir. Önerilen yöntem ile eğim filtresi uygulanması durumunda veriden istenmeyen şekilde atılan yansıma hiperbolünün yarısının atılması önlenecektir.

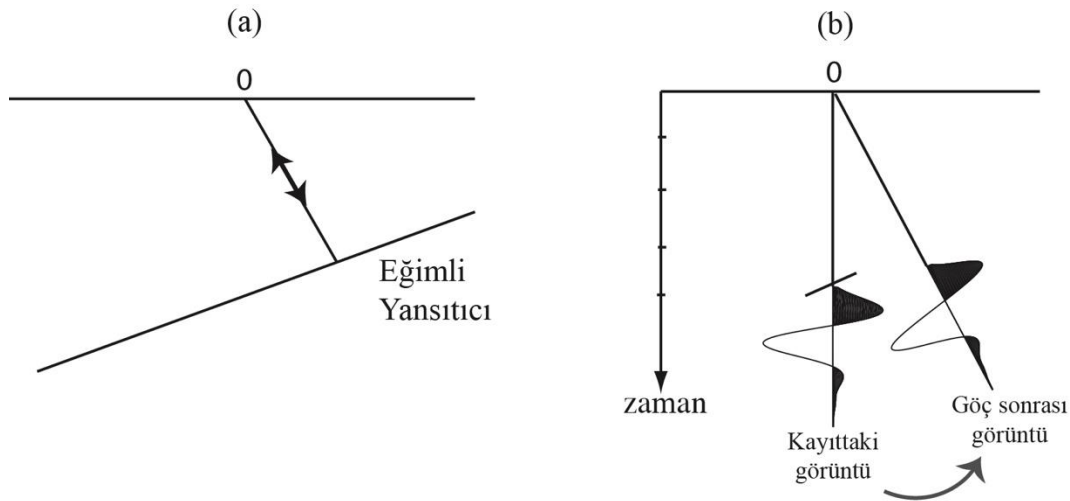
2. Yöntem (Method)

Jeofizik inceleme teknikleri olan sismik ve yer radarı yöntemlerinde göç işlemi ile yer altı görüntüsünün yorumu daha kolay hale getirilebilmektedir. Göç işlemi, gözlem noktalarından toplanan verilerin gerçek noktalarına yani yansıma noktalarına taşınması işlemidir (Kurtuluş, 2002). Göç işlemi sonucunda radargramlar geometrik açıdan daha anlamlı şekiller ifade etmektedir.

Radargramlarda görülen yansıma olayları her zaman düşey yöndeki bir yansıtıcıdan kaynaklanmamaktadır. Bu varsayım ancak yatay yansıtıcı yüzeylerin olması durumunda doğrudur. Yansıtıcı yüzeyin eğimsiz ve yatay olması durumunda veri üzerinde gerçek noktada görüldüğünden göç işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır (Şekil 1). Yansıma noktasının gözlem noktasının tam altında olmaması durumunda ise kayıttaki görüntü yanıltıcı olabilir. Bu durumda mutlaka göç işlemi uygulanarak yansıma gerçek yerine taşınmalıdır (Şekil 2).



Şekil 1. a) Yansıtıcı Yüzeyin Eğimsiz Ve Yatay Olması, b) Kayıt (a) In Case Of When Reflection Surface Is Flat And Horizontal, b) Record).

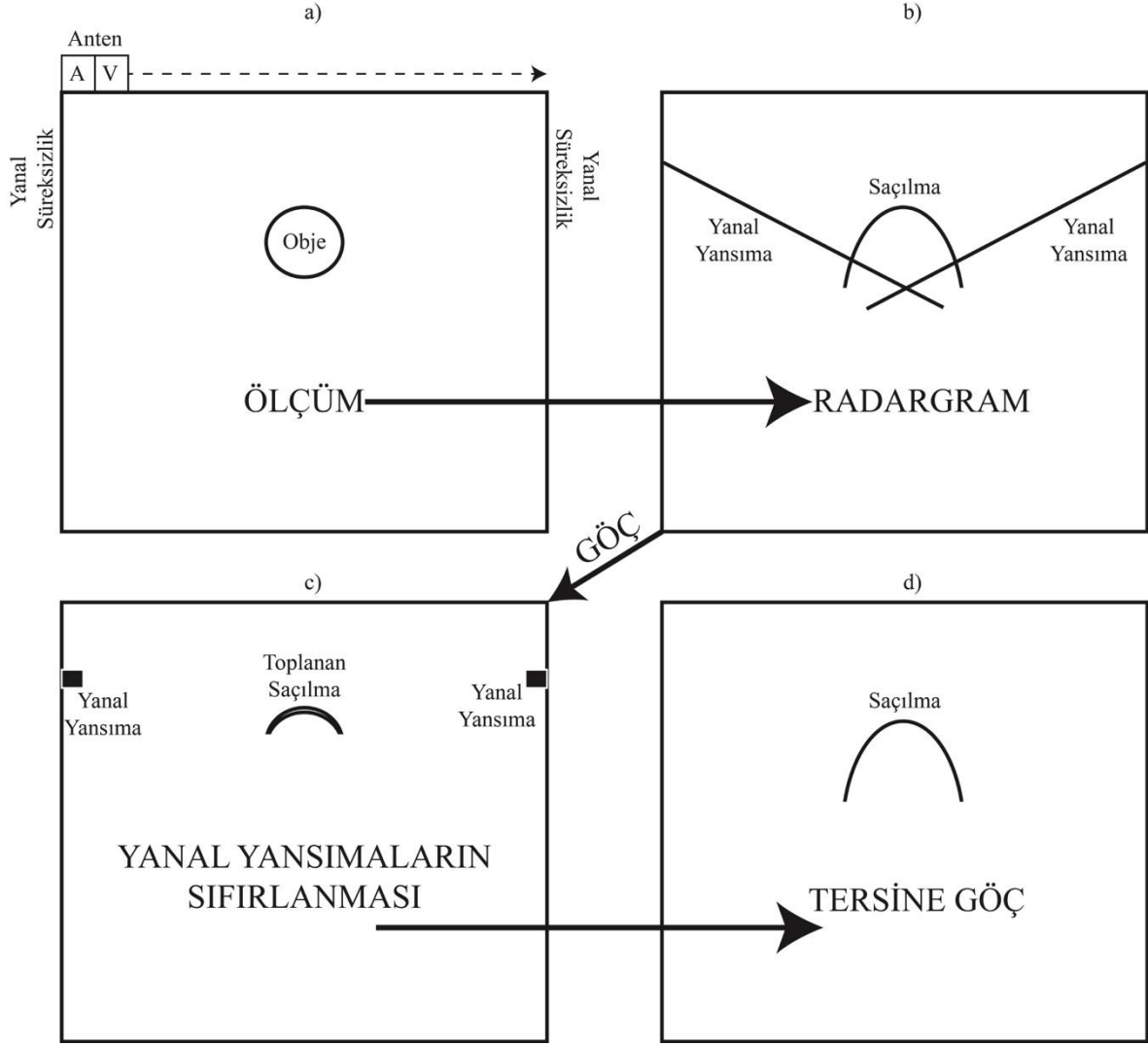


Şekil 2. a) Yansımanın Gözlem Noktasının Tam Altından Gelmemesi Durumu, b) Kayıttaki Görüntü Ve Göç Sonrası Gerçek Yerine Taşınması (a) The Situation Where The Reflection Does Not Arrive From Directly Below The Observation Point, b) The Image In The Record And Its Relocation To Its Actual Place After Migration).

Özdemir vd., (2014) yaptıkları çalışmada yer radarı yönteminde sıklıkla kullanılan göç işlemlerini incelemişlerdir. Göç işlemi, genellikle Kirchhoff yöntemi, sonlu farklar yöntemi ve Stolt yöntemi ile uygulanabilmektedir (Damcı, 2004). Kirchhoff yöntemi, saçılma-toplama tekniği temel alınarak geliştirilen bir yöntemdir (Schneider, 1978; Moran vd., 2000). Claerbout (1985), dalga denkleminin sonlu farklar yöntemi ile çözülerek elde edilen göç yönteminin fiziksel prensibini tanımlamış ve sismik veriye uygulamıştır. Stolt (1978) ise Fourier dönüşümü ile göç yöntemini geliştirmiştir. Stolt yöntemi derinlikten dalga sayısına ve zamandan frekansa dönüşümü yaparak göç işlemini gerçekleştirmektedir. Stolt yöntemi sabit hız değerine sahip ortamlar için en uygun göç yöntemidir. Gazdag (1978) ise dalga sayılarını faz kayması ile ilişkilendirerek sıfır ofsetli sismik veri için hassas bir göç yöntemi geliştirmiştir.

Yer radarı çalışmalarında ani yanal süreksizliklerin ve yüksek hız değişimlerinin olduğu yerlerde yanal yansımalar gözlemlenmektedir. Bu yanal yansımalar ise araştırılan objelerden kaynaklanan yansımalar ile üst üste binebilmekte ve radargramların yorumunu zorlaştırabilmektedir. Bu sebeple radargrama uygulanacak göç, ardından yanal yansımaların toplandığı yerlerin atılması ve tersine göç işlemleri yanal yansımaları veriden atarak radargramın daha kolay yorumlanmasını sağlayacaktır. Bu işlem adımları Şekil 3'te görselleştirilerek ifade edilmiştir. Buna göre işlem şu adımlar ile gerçekleştirilmektedir:

- 1- Ölçülen bir radargramda var olan yanal yansımalar, önce göç işlemi ile gerçek yansıma yerlerine taşınmaktadır.
- 2- Yanal yansımaların taşınan genlikleri göç uygulanan radargramda sıfırlanarak veriden atılmaktadır.
- 3- Veri, tersine göç işlemi ile yanal yansımalarından arındırılmış haline dönüştürülmektedir.



Şekil 3. a) Herhangi Bir Objenin Yer Altındaki Varlığı Varsayılarak Yapılan Radargram Ölçümü, b) Ölçüm Sonrası Oluşan Radargram Ve Radargramda Objenin Oluşturduğu Saçılma İle Yanal Süreksizliğin Oluşturduğu Yanal Yansımalar, c) Göç İşlemi Sonrası Saçılmanın Gerçek Yansıma Noktasına Toplanması Ve Yanal Yansımaların Veriden Sıfırlanarak Atılması, d) Tersine Göç İşlemi Uygulanarak Yanal Yansımaların Veriden Arındırılması (a) Acquisition Of Radargram Assuming The Existence Of Any Object Underground, b) The Radargram Formed After The Measurement That Consist Of Reflections Formed By The Scattering Due To Object And The Side Reflections Due To Discontinuity On Both Sides, c) After The Migration Process, The Scattering Is Collected To The Real Reflection Point And The Side Reflections Are Removed From The Data By Muting, d) The Form Of The Radargram By Applying Demigration After Removal Of Side Reflections From The Data).

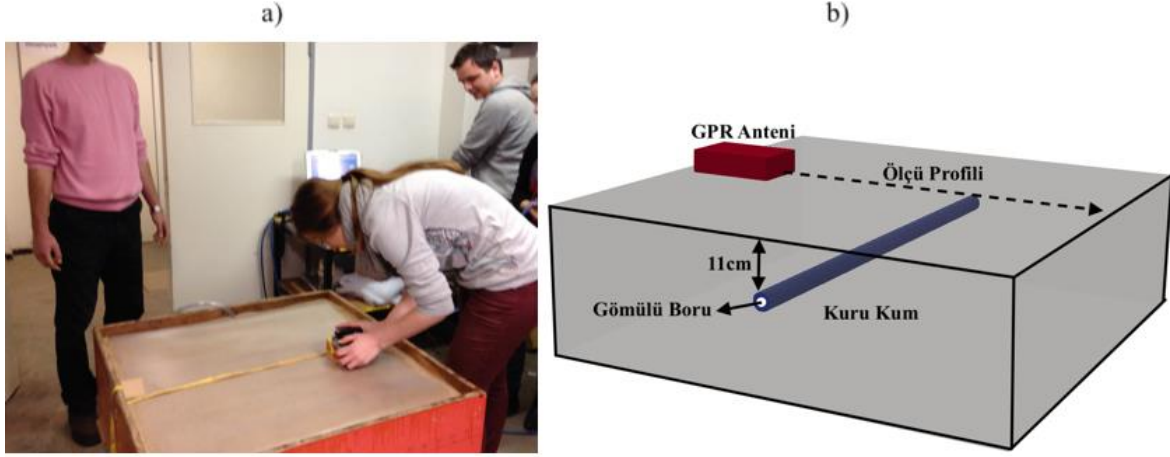
Bu çalışmada uygulanan göç işlemi Kirchoff göç yöntemidir. Kirchoff göç yöntemi dalga denkleminin integral çözümüne dayanmaktadır (Dondurur, 2009). Matlab programlama dilinde yazılmış bir kod yardımı ile göç ve tersine göç işlemleri radargramlara uygulanmıştır. Kirchoff göç yönteminde genliklerin gerçek yerlerine taşınması işlemi

$$t^2 = \tau^2 + \frac{4x^2}{V^2} \quad (1)$$

ile gerçekleştirilebilir. (Yılmaz, 2001). Buna göre radargramda saçılma hiperbolünün kolları üzerindeki herhangi bir noktadaki genlik hiperbolün tepe noktasına taşınır. Burada t , saçılma hiperbolünün kolları üzerindeki herhangi bir noktadaki genliğin varış zamanı, τ , saçılma hiperbolünün tepe noktasının varış zamanı, V ortamın elektromanyetik dalga hızı, x ise t zamanında varan yansımanın konumu ile τ zamanında varan yansımanın konumu arasındaki uzaklığı ifade etmektedir. Tersine göç işlemi de (1) formülünden yararlanılarak gerçekleştirilebilmektedir.

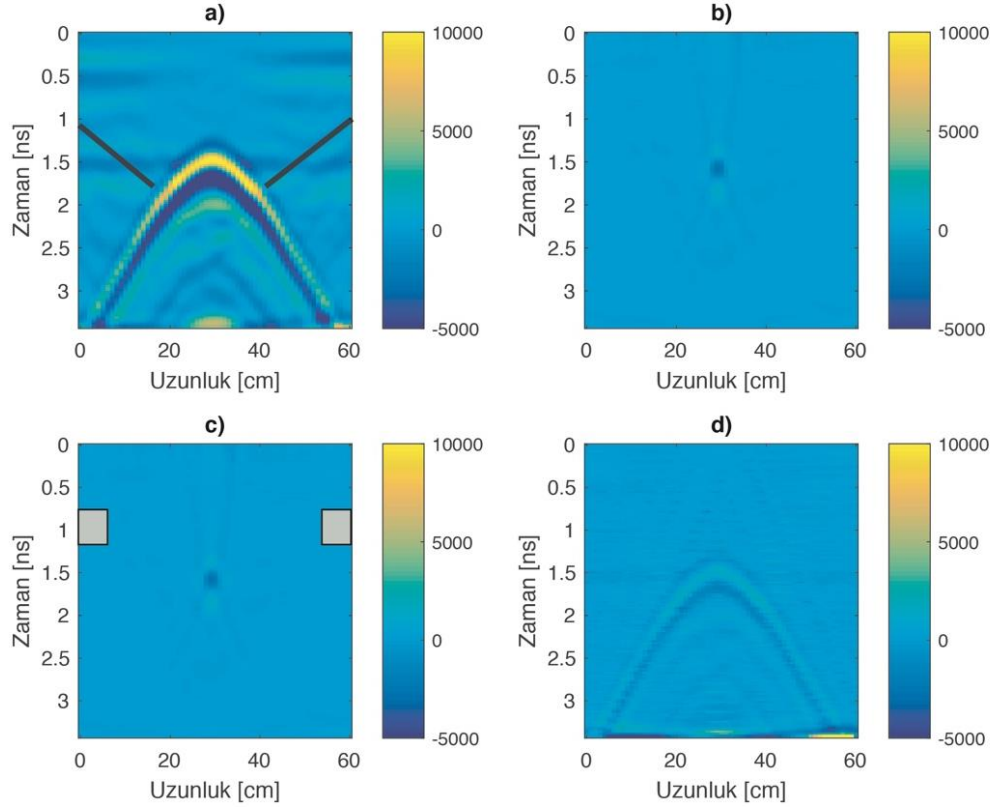
3. Uygulama (Application)

Yöntemin gerçekleştirilmesi adına veri toplanması için bir test modeli oluşturulmuştur. Test modeli tahtadan yapılmıştır. Test modelinin derinliği 28cm, kare şeklinde olan üst yüzeyinin her bir kenarı ise 88cm'dir. Yer radarı ölçüsünde saçılma oluşturması adına test modelinin içine, ölçü yönüne dik bir şekilde uzanan bir boru gömülmüştür (Şekil 4). Borunun üst sınırının ölçü yüzeyinden derinliği 11cm'dir. Boru gömüldükten sonra kumun üst yüzeyi antenin rahatça çekilmesi için pürüzsüz hale getirilmiştir. Ölçü 2 GHz merkez frekansa sahip Geophysical Survey Systems Inc. (GSSI) marka korumalı anten kullanılarak alınmıştır. Ölçüm uzunluğu anten ve test modelin boyutları göz önünde bulundurularak 60cm olarak belirlenmiştir. Ölçülen radargram içindeki her bir izin örnek sayısı 512'dir. Kayıt süresi ise 3ns'dir.



Şekil 4. a) Kum İçine Gömülen Boru Üzerinde Ölçü Alımı Ve Deneysel Model, b) Deneysel Test Modelinin Şematik Gösterimi, Özellikleri Ve Ölçü Alımı (a) Measurement On Experimental Test Model Where The Pipe Was Buried In The Sand, b) Schematic Representation Of The Experimental Test Model, Its Characteristics And Measurement Procedure).

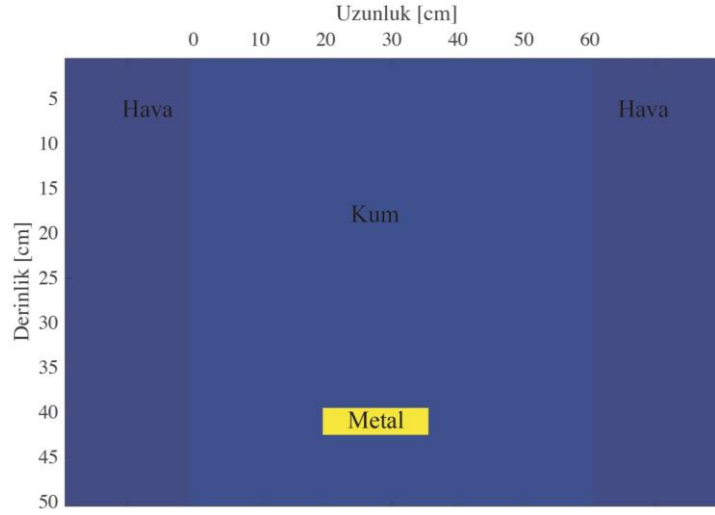
Yer radarı verilerine göç ve tersine göç işlemleri uygulanabilmesi için yeraltında ilerleyen EM dalganın hız bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada ölçü alımı, alıcı ve verici antenlerin arasındaki mesafe değişmeden yani sabit ofset kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sabit ofset ile toplanan yer radarı verisinde radargramda görüntülenen hiperbol şeklinde bir yansımadan yeraltı yapısına ait elektromanyetik dalga hızı elde edilebilmektedir (Lei vd., 2019). Bu çalışmada da gömülü boruya ait yansıma hiperbolünden borunun gömülü olduğu kuru kumun elektromanyetik dalga hızı 17cm/ns olarak hesaplanmıştır. Gömülü boru üzerinde bir ölçü profili boyunca toplanan veri Şekil 5a'da gösterilmektedir. Toplanan veriye uygulanan Kirchoff göçü sonrasındaki görüntü Şekil5b'de gösterilmektedir. Göç sonrası yansıma noktaları gerçek yerlerine taşınmıştır. Bununla birlikte Şekil5a'da siyah renkli çizgilerle gösterilen yanıl yansımalar da gerçek yerlerine taşınmıştır. Bu yanıl yansımaların sebebi kuru kum ile test modelinin bittiği sınırdaki hava ortamına ani geçişten kaynaklanmaktadır. Göç işlemi sonrasında gerçek yerlerine taşınan yanıl yansımaların sayısal değerleri sıfırlanmış ve veriden atılmışlardır. Bu işlem Şekil 5c'de dışı siyah, içi gri renkli karelerin bulunduğu alanlarda gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, yanıl yansımalarından arındırılmış yer radarı verisi tersine göç ettirilmiştir (Şekil 5d). Bu işlem sonrasında gömülü borunun oluşturduğu yansıma hiperbolünü barındıran radargram yanıl yansımalarından temizlenmiş ve bu sayede daha az elektromanyetik gürültü içeren bir görüntü oluşturmuştur.



Şekil 5. Yer Radarı Verisine Uygulanan Göç Ve Tersine Göç İşlemi: a) Toplanan Veri (Yanal Yansımalar Siyah Renkli Çizgiler İle İfade Edilmiştir), b) Göç Ettirilmiş Veri, c) Yanal Yansımaların Göç Sonrası Toplandığı Yerlerin Sayısal Değerleri Sıfırlanmış Veri (Gri Kutular Yanal Yansımaların Toplandığı Bölgelerdeki Sıfırlama İşlemi İfade Etmektedir), d) Yanal Yansımaların Etkisinden Arındırılmış Verinin Göç İşlemi Sonrası Hali (Migration And Demigration Processes Applied To Ground-Penetrating Radar Data: a) Acquired Data (Side Reflections Are Represented By Black Lines), b) Migrated Data, c) Muted Data Values Of The Places Where Side Reflections Are Collected After Migration (Grey Boxes Represent The Muting Process Locations Where Side Reflections Are Collected), d) Demigrated Form Of The Data, Which Contains No Side Reflections).

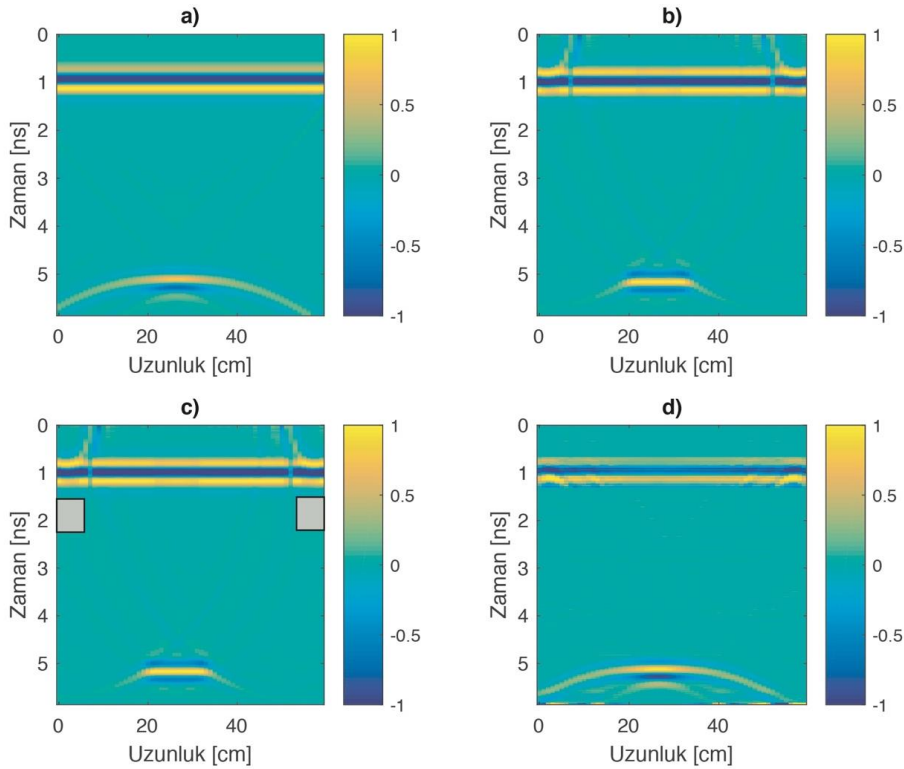
4. Modelleme Verisi (Modelling Data)

Yanal yansımaların radargramdan atılması ayrıca sonlu farklar yöntemi ile iki boyutta modellenmiş bir modele de uygulanmıştır. Bu sebeple kum ortamı içine metal bir plaka yerleştirilerek basit bir model oluşturulmuştur. Yanal yansıma oluşturması için ise modelin çevresine havanın dielektrik özellikleri eklenmiştir. Kumun göreceli dielektrik sabiti $\epsilon_k=3$, havanın göreceli dielektrik sabiti $\epsilon_h=1$ seçilmiştir. Metal ise çok kuvvetli iletken (PEC: Perfect Electric Conductor) olarak seçilmiştir (Giannakis vd., 2015). Modelin geometrisi Şekil 6'da gösterilmektedir. Oluşturulan model gprMax yazılımı ile modellenmiştir. gprMax, elektromanyetik dalga yayılımını Maxwell denklemlerini sonlu farklar yöntemi ile çözerek simüle eden açık kaynaklı bir yazılımdır (Giannapolous, 2005).



Şekil 6. Kum İçine Metal Gömülü Olan Ve Her İki Yanda Da Hava Ortamı Olan Model Geometrisi (An Underground Model Geometry That Contains Of A Metal Embedded In The Sand And Air Medium On Both Sides).

Modelleme çalışması 2 GHz'lik Ricker benzeri bir kaynak dalgacığı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her 1 cm uzunluğa 1 radar izi denk gelecek şekilde hesaplamalar yapılmıştır. Her bir iz 2500 kez örneklenmiştir. İki boyutta zaman ortamında sonlu farklar ile modelleme çalışması sonucunda hesaplanan radargram Şekil 7a'da gösterilmektedir. Hesaplanan veriye uygulanan göç işlemi sonrasında elde edilen radargram Şekil 7b'de gösterilmektedir. Yanal yansıma genliklerinin göç işlemi sonrasında toplandığı yerlerin genlikleri sıfırlanmıştır (Şekil 7c). Tersine göç işlemi sonucunda yanar yansılardan arındırılmış olan radargram ise Şekil 7d'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Modellenen Veriye Uygulanan Göç Ve Tersine Göç İşlemi: a) Modeldenmiş Veri, b) Göç Ettirilmiş Veri, c) Yanal Yansımaların Göç Sonrası Toplandığı Yerlerin Sayısal Değerleri Sıfırlanmış Veri (Gri Kutular Yanar Yansımaların Toplandığı Bölgelerdeki Sıfırlama İşlemi İfade Etmektedir), d) Yanal Yansımaların Etkisinden Arındırılmış Verinin Göç İşlemi Sonrası Hali (Migration And Demigration Applied To The Modeled Data: a) Modeled Data, b) Migrated Data, c) Muted Data Values Of The Places Where Side Reflections Are Collected After Migration (Grey Boxes Represent The Muting Process Locations Where Side Reflections Are Collected), d) Demigrated Form Of The Data, Which Contains No Side Reflections).

5. Sonuçlar (Results)

Bu çalışma kapsamında bir test modeli üzerinde toplanan yer radarı verisi göç ve tersine göç işlemleri ile yanal yansımalar arındırılmıştır. Yanal yansımaların yer radarı verisinden önerilen işlem adımları ile arındırılması ilk kez bu çalışmada gerçek ve teorik veriler üzerinde gösterilmiştir. Uygulama verisinde yanal yansımalar kum havuzunun yanlarındaki hava ortamından dolayı kaynaklanmaktadır. Bu durumu daha detaylı incelemek adına, ayrıca, zaman ortamında sonlu farklar ile iki boyutta modellenen ve yanal yansımalar içeren bir radargram da hesaplanmıştır. Modelleme çalışmasında kum havuzu içine gömülü bir metal plaka ve kum havuzunun her iki yanına da hava tabakasının dielektrik özellikleri girilerek hesaplama yapılmıştır. Hesaplanan radargramda gözlenen ve kum-hava sınırından dolayı kaynaklanan yanal yansımalar da benzer aşamalar ile veriden arındırılmıştır. Bu çalışmada önerilen algoritmadaki adımlar sırası ile izlenerek yanal yansımalar radargramlardan çıkarılabilir. Önerilen yöntem yer radarı çalışmalarında sıklıkla karşılaşılan yanal yansımaların radargramlardan atılması için kullanılabilir. Bu sayede radargramların sağ ve sol yanlarından olası yanal yansımaların genlikleri, yer altında araştırılan objelerin yansımalarından arındırılmış olacaktır. Bu işlemin yanal yansımaların sıklıkla gözlemlendiği bina içinde yapı unsurlarını görüntülemek amacıyla yapılan yer radarı çalışmalarında kullanılması verilerin yorumlanmasına katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte, laboratuvarında herhangi bir test modeli ile duvarlara veya ağaçlara yakın olan profiller içeren yer radarı çalışmalarında yanal yansımaların atılması için önerilmektedir. Göç işlemi sonrası yanal yansımaların genlikleri sıfırlanarak ve ardından tersine göç işleminden sonra orijinal haline dönüştürülen radargramlarda herhangi bir olumsuz etki gözlemlenmemektedir. Yöntemin uygulanabilirliği adına oluşabilecek tek küçük kusur yer altında aranan obje vb. yapının saçılma hiperbolünün kolları ile yanal yansımaların üst üste bindiği durumlarda oluşacaktır. Fakat böyle bir ihtimalde dahi tersine göç işlemi sonrası aranan objenin saçılma hiperbolünün kollarında yorumu engelleyecek bir değişiklik oluşmayacaktır. Ayrıca, radargramlarda seçilen genlik sıfırlama pencerelerinin olduğu kısımlarda herhangi bir yer altı yansıması olması durumunda ise pencere seçiminin gerçek yansımaları kapsamayacak şekilde ve sadece yanal yansımaların genliklerini kapsayacak şekilde özenle seçilmesi gerekmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma ile ilgili değerli görüşlerini bildirerek çalışmaya yön veren ve katkı sağlayan Ertan Pekşen, Kerem Özkap ve Doğan Durdağ'a teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- Balkaya, Ç., Kalyoncuoğlu, Ü., Özhanlı, M., Merter, G., Çakmak, O., Güven, İT, 2018. Ground- penetrating Radar and Electrical Resistivity Tomography Studies in the Biblical Psidian Antioch City, Southwest Anatolia. *Archaeological Prospection*, 25 (4), 285-300.
- Benedetto, A., Tosti, F., Bianchini Ciampoli, L., D'Amico, F., 2017. An Overview Of Ground-Penetrating Radar Signal Processing Techniques For Road Inspections. *Signal Processing*, 132, 201-209.
- Ciampoli, L.B., Tosti, F., Economou, N., Benedetto, F., 2019. Signal Processing of GPR Data for Road Surveys. *Geosciences*, 9.
- Claerbout, J.F., 1985. *Imaging The Earth's Interior*. Blackwell Scientific Publications.
- Damcı, E., 2004. Bartın-Amasra Açıklarında Deniz Sismiği Verilerinin Derinlik Ortamında Göç Uygulamaları ve Bölge Jeolojisi ile İlişkilendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Dondurur, D., 2009. Deniz Sismiğinde Veri İşlem, Ankara: TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları, Yayın No:11.
- Gazdag, J., 1978. Wave Equation Migration with the Phase-shift Method. *Geophysics*, 43, 1342-1351.
- Giannakis, I., Giannopoulos, A., Warren, C., Davidson, N., 2015. Numerical Modelling And Neural Networks For Landmine Detection Using Ground Penetrating Radar. 2015 8th Int. Work. Adv. Gr. Penetrating Radar, IWAGPR 2015.
- Giannopoulos, A., 2005. Modelling Ground Penetrating Radar By Gprmax. *Construction And Building Materials*, 19 (10), 755-762.
- Kadioğlu, S., 2010. Definition of Buried Archaeological Remains With a New 3D Visualization Technique of a Ground-penetrating Radar Data Set in Temple Augustus in Ankara, Turkey. *Near Surface Geophysics*, 8 (5), 397-406.
- Kadioğlu, S., 2018. Research Of The Sea-Filled Airport OGU in The Black Sea, Turkey, Using Ground Penetrating Radar Method. *Construction and Building Materials*, 158, 1123-1133.
- Kaplanvural, İ., Pekşen, E., Özkap, K., 2020. 1D Waveform Inversion Of GPR Trace By Particle Swarm Optimization. *Journal of Applied Geophysics*, 181, 104157.
- Kaplanvural, İ., Özkap, K., Pekşen, E., 2021. Influence of Water Content Investigation on GPR Wave Attenuation For Early Age Concrete in Natural Air-drying Condition. *Construction and Building Materials*, 297, 123783.
- Kurtuluş, C., 2002. Sismik Arama, Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 55.
- Lei, W., Hou, F., Xi, J., Tan, Q., Xu, M., Jiang, X., Liu, G., Gu, Q., 2019. Automatic Hyperbola Detection And Fitting İn GPR B-Scan

- Image. Automation in Construction, 106, 102839.
- Moran, M.L., Greenfield, R.J., Arcone, S.A., Delaney, A.J., 2000. Multidimensional GPR Array Processing Using Kirchhoff Migration. Journal of Applied Geophysics, 43, 281–295.
- Özdemir, C., Demirci, Ş., Yiğit, E., Yılmaz, B., 2014. A Review On Migration Methods In B-Scan Ground Penetrating Radar Imaging. Mathematical Problems in Engineering, 2014, 280738.
- Özkap, K., Pekşen, E., Kaplanvural, İ., Çaka, D., 2020. 3D Scanner Technology Implementation to Numerical Modelling of GPR. Journal of Applied Geophysics, 179, 104086.
- Özkap, K., Pekşen, E., 2021. Yer Radarı (GPR) İçin 3B Sayısal Modellemede Fiziksel Parametre Etkileri : DNAPL Örneği. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9 (2), 476-494.
- Plattner, A.M., 2020. GPRPy: Open-Source Ground-Penetrating Radar Processing And Visualization Software. The Leading Edge, 39, 332–337.
- Prego, F.J., Solla, M., Puente, I., Arias, P., 2017. Efficient GPR Data Acquisition to Detect Underground Pipes, NDT & E International, 91 (5), 22-31.
- Schneider, W., 1978. Integral Formulation for Migration in Two and Three Dimension. Geophysics, 43, 49-76.
- Smitha, N., Ullas Bharadwaj, D.R., Abilash, S., Sridhara, S.N., Singh, V., 2016. Kirchhoff And F-K Migration To Focus Ground Penetrating Radar Images. International Journal of Geo-Engineering, 7.
- Stolt, R. H., 1978. Migration by Fourier Transform. Geophysics, 43, 23-48.
- Yılmaz, Ö., 2001. Seismic Data Analysis. Society of Exploration Geophysicists.
- Zhang, X., Feng, X., Zhang, Z., Kang, Z.; Chai, Y., You, Q., Ding, L., 2019. Dip Filter and Random Noise Suppression for GPR B-Scan Data Based on a Hybrid Method in $f - x$ Domain. Remote Sensing, 11, 2180.
- Zhou, H., Sato, M., Liu, H., 2005. Migration Velocity Analysis And Prestack Migration Of Common-Transmitter GPR Data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 43, 86–91.



DAİRESEL BOŞLUKLU ÇELİK ÇERÇEVELERİN OPTİMUM TASARIMI ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR ÇALIŞMA

Aybike ÖZYÜKSEL ÇİFTÇİOĞLU¹, Tuğçe DOĞAN², Betül ÜSTÜNER^{3*}, Erkan DOĞAN⁴

^{1,3,4}Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye
²Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Metasezgisel Algoritma,
Çelik Çerçeve,
Dairesel Boşluklu Kiriş,
Optimizasyon.*

Öz

Dairesel boşluklu kirişler kiriş ağırlığını azaltırken yüksekliğini ve atalet momentini arttırmakta, bu da daha fazla mukavemet ve rijitliğin sağlanması anlamına gelmektedir. Bu çalışmada, dairesel boşluklu kirişlere sahip çelik çerçeveler optimum tasarım problemi olarak formüle edilmiştir. Optimum boyutlara sahip dairesel boşluklu çelik çerçeveler ile temele etkiyen ağırlık en az olurken en az malzeme kullanımı ile kaynak yönetimi en iyi şekilde sağlanmış olur. Ek olarak malzemenin en az düzeyde kullanımı ile çerçeve toplam maliyeti de en az düzeye indirgenir. Tasarım kısıtlayıcıları olarak Yük ve Dayanım Faktörü Tasarımı, Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü (LRFD-AISC) yönetmeliğince belirtilen çelik çerçeve ve dairesel boşluklu kiriş sınırlayıcılarının hepsinin sağlanması beklenmiştir. Tasarım probleminin çözümünü elde etmek için metasezgisel algoritma yöntemlerinden av arama, parçacık sürü optimizasyonu, yapay arı kolonisi, ateş böceği ve yarasa yöntemleri ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Böylece algoritma performanslarının kendi içinde kıyaslanması sağlanmıştır. Tasarım algoritmaları, genel bir yüklemeye maruz kalan dairesel boşluklu kirişlere sahip çelik çerçeve üretiminde kullanılacak optimum kolon ve kiriş kesitlerini, dairesel boşluklu kirişlerdeki optimum delik çapını ve optimum delik sayısını seçer. Bu seçim tasarım sınırlamalarını sağlayacak ve dairesel boşluğa sahip kirişli çelik çerçevenin ağırlığı minimum olacak şekilde gerçekleştirilir. Sunulan algoritmaların etkinliğini göstermek için üç katlı iki açıklıklı ve dört katlı dört açıklıklı, iki adet çelik çerçeve örneği dikkate alınmıştır.

OPTIMUM DESIGN OF STEEL FRAMES WITH CELLULAR BEAMS: A COMPARATIVE STUDY

Keywords

*Metaheuristic Algorithm,
Steel Frame,
Cellular Beam,
Optimization.*

Abstract

Cellular beams increase moment of inertia by increasing height while decreasing weight, resulting in increased strength and rigidity. In this study, steel frames with cellular beams are formulated as an optimum design problem. The use of steel frames with optimum cellular beams reduces the weight acting on the foundation and ensures the best resource management with the least material consumption. Moreover, using the least amount of material reduces the overall cost of the frame. Steel frame and cellular beam constraints specified in LRFD-AISC are chosen as design constraints. In order to obtain the solution to the design problem, hunting search, particle swarm optimization, artificial bee colony, firefly, and bat algorithms from metaheuristic algorithm methods are used separately. The performances of the algorithms are thus compared within themselves. The design algorithms choose the best column and beam sections, hole diameters in the cellular beams, and number of holes to utilize in the manufacturing of steel frames with cellular beams subjected to general loads. Furthermore, this choice is taken to minimize the weight of the cellular beam steel structure while meeting design constraints. To show the efficiency of the provided method, two steel frame cases are considered: three-story two-span and four-story four-span.

* İlgili yazar / Corresponding author: betul.celik@cbu.edu.tr, +90-236 -201-2329

Alıntı / Cite

Çiftçioğlu, A.Ö., Doğan, T., Üstüner, B., Doğan, E., (2023). Çelik Çerçeve Optimum Boyutlandırılması Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 170-183.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A.Ö. Çiftçioğlu, 0000-0003-4424-7622

T. Doğan, 0000-0001-8540-9187

B. Üstüner, 0000-0002-1936-3296

E. Doğan, 0000-0002-9691-2121

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 21.05.2022

Revizyon Tarihi / Revision Date 15.08.2022

Kabul Tarihi / Accepted Date 29.09.2022

Yayın Tarihi / Published Date 27.03.2023

OPTIMUM DESIGN OF STEEL FRAMES WITH CELLULAR BEAMS: A COMPARATIVE STUDY

Aybike ÖZYÜKSEL ÇİFTÇİOĞLU¹, Tuğçe DOĞAN², Betül ÜSTÜNER^{3†}, Erkan DOĞAN⁴

^{1,3,4}Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye

²Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Highlights

- Cellular beams improve strength and rigidity by increasing height while decreasing weight.
- Steel frames with cellular beams are optimally designed.
- Hunting search, particle swarm, artificial bee colony, firefly, and bat optimizers are employed.

Purpose and Scope

Cellular beams enhance moment of inertia by increasing height while reducing weight, resulting in more rigidity and strength. Steel frames with cellular beams are addressed as an optimal design problem in this study. The use of steel frames with optimal cellular beams decreases the weight acting on the foundation and provides the best resource management with the least amount of material usage. Furthermore, utilizing the least quantity of material minimizes the overall cost of the frame.

Design/methodology/approach

The problem addressed in the study is the optimum design of steel frames with cellular beams. As design constraints, the LRFD-AISC specification for steel frame and cellular beam constraints is used. The hunting search, particle swarm optimization, artificial bee colony, firefly, and bat algorithms from metaheuristic approaches are each utilized independently to discover the solution to the design challenge. Thus, the algorithm performances are evaluated against one another. The design algorithms choose the optimum column and beam sections, cellular beam hole diameters, and cellular beam hole numbers to be used in the production of steel frames with cellular beams exposed to general loads. Two steel frame cases—three-story two-span and four-story four-span—are taken into account to demonstrate the effectiveness of the proposed approach.

Findings

The two-span, three-story steel frame with cellular beams is designed with a minimal weight of 117.7 kN. The minimal weight of the four-story, four-span steel frame with cellular beams, which is constructed with optimum dimensions, is determined to be 57.96 kN. Although all algorithms can determine the best solution for both design problems, the HuS and ABC algorithms are the fastest converging methods. They are followed by the BA algorithm. The FA and PSO algorithms are those with the slowest rate of convergence.

Research limitations/implications

Future research can employ more samples than have been used in this study. Assessing the effectiveness of various algorithms is possible.

Practical implications

The purpose of this work is to increase the usage of steel frames with circular beams. It is possible to save cost, use less material, and lessen the load on the foundation by providing the optimal dimensions.

Originality

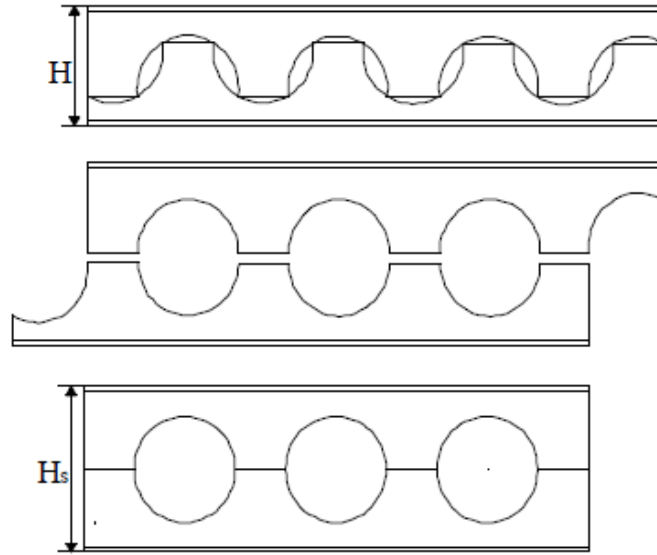
The optimal design of steel frames with cellular beams is evaluated for the first time in this research using various algorithms, and the min weight of the steel frames is searched for by comparing the methods.

[†] İlgili yazar / Corresponding author: betul.celik@cbu.edu.tr, +90-236 -201-2329

1. Giriş (Introduction)

Zaman ve kaynak yönetimi tasarımcılar için en zorlu alanlardandır. Bu amaçla mühendisler, özellikle karmaşık yapılarda bu sorunların üstesinden gelmek için uygun çözüm olarak meta-sezgisel optimizasyon yöntemlerini kullanırlar. Çerçeve yapılar günümüzde en yaygın kullanılan yapılar arasındadır. Çerçeve yapılar, konut binaları, yüksek binalar ve endüstriyel binalar dahil olmak üzere inşaat sektöründe çok sayıda uygulamaya sahiptir. Bu nedenle çerçeve yapıların minimum ağırlıklı olarak tasarımı, malzemeden tasarruf edilmesi, temele etkileyen toplam yükün azaltılması vb., açılardan ekonomik tasarımda önemli bir yer tutmaktadır. Minimum ağırlıklı olarak tasarlanan yapı davranışının güvenli sınırlar içinde kalması gerekmektedir. Yapıya etkileyen yüklere karşı gösterdiği davranışı güvenli sınırlar içerisinde kalan ve maliyeti en az olan bir yapının belirlenmesi problemi, optimum tasarım problemi olarak isimlendirilebilir (Erdal, 2011; Khalilpourazary ve Khalilpourazary, 2019; Rather ve Bala, 2020; Çiftçioğlu 2021).

Şekil 1' de gösterildiği gibi dairesel boşluklu kirişler, I kesitli kirişlerin gövde merkezleri boyunca yarım daire şeklinde iki kez kesilerek gövdenin iki bölüme ayrılması ve elde edilen kısımların kaydırılarak uçlarından birleştirilmesi ile oluşturulur. Bu dairesel boşlukların optimum şekilde tasarlanması ile tüm kiriş ağırlığı azaltılırken kiriş yüksekliği, atalet momenti ve mukavemet momenti artmaktadır. Çerçeve yapıların kirişlerinde dairesel boşluklu kirişlerin tercih edilmesi ile de malzemeden tasarruf edilirken (minimum maliyet) temele etkileyen toplam yapı ağırlığının azaltılması da sağlanmış olur.



Şekil 1. Dairesel Boşluklu Kirişlerin Yapım Süreci (Erdal,2011) (Construction Process of Circular Beams)

Bu çalışmada mühendislik yapılarında sıklıkla kullanılan çelik çerçevelerin kirişleri dairesel boşluklu olacak şekilde tasarlanmıştır. Beş farklı meta-sezgisel algoritma ile dairesel boşluklu kirişlere sahip çelik çerçevelerin optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu sayede optimum boyutlara sahip, en düşük ağırlıklı dairesel boşluklu çelik çerçeveler elde edilirken optimizasyon algoritmalarının performanslarının kendi içinde kıyaslanması da gerçekleştirilmiştir.

1.1. Metasezgisel Algoritmalar (Metaheuristic Algorithms)

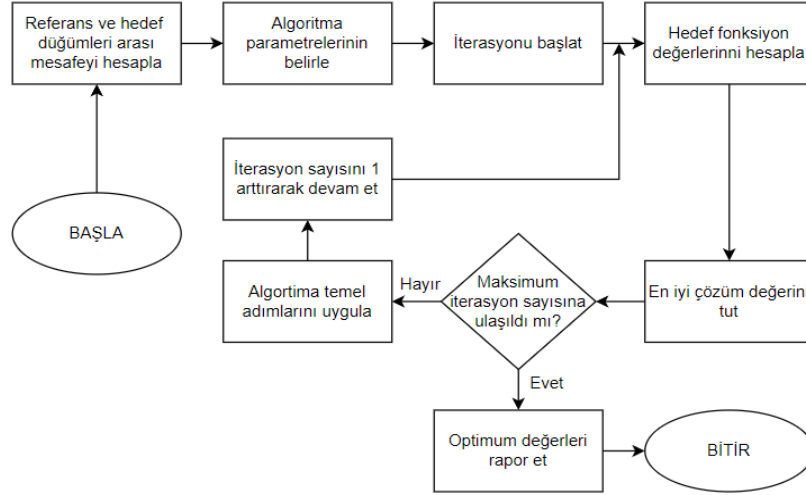
Geçmişten günümüze insanlar fayda sağlayacak unsurları en üst derecede, hesaplama maliyetlerini azaltmak için ise en alt derecede tutmaya çalışmışlardır. Doğanın bizlere sunduğu sınırlı kaynaklar insanı en iyi çözümü bulmaya yöneltmiştir. Optimizasyon, belirli kısıtlamaları sağlayacak şekilde en iyi sonucu elde etme işlemine verilen addır (Doğan, 2010). Optimizasyon problemlerinde çözüm yapabilmek için hedefin belirlenmesi gerekir. Amaç fonksiyonu, fayda veya maliyet gibi optimize edilecek bir miktarı belirtir. Daha sonra, kısıtlamalar ve tasarım değişkenleri tanımlanır. Optimizasyon problemi, kısıtların sağlandığı ve amaç fonksiyonunun en küçük veya en büyük yapıldığı optimum değerlerin (değişkenlerin) seçimi olarak tanımlanabilir.

Yıllar boyunca mühendisler, araştırmacılar ve uygulayıcılar, yapısal ve inşaat mühendisliği problemleri dahil olmak üzere çeşitli mühendislik dallarında karmaşık tasarım problemlerinin optimum çözümlerini araştırmak için yaratıcı optimizasyon teknikleri aradılar (Çarbaş ve diğ., 2021; Kaveh ve Ghazaan., 2018; Kaveh, 2016; Yang ve diğ. 2020). Optimum tasarım prosedürlerinin hesaplama maliyetini azaltmak için, güncel optimizasyon algoritmaları ile entegre bazı vekil modeller de araştırmacılar tarafından önerilmiş ve geliştirilmiş ve çok çeşitli mühendislik alanlarına uygulanmıştır (Zuhang ve diğ., 2021; Hamdia ve diğ., 2019).

Bu çalışmada dairesel boşluklu kirışlere sahip çelik çerçevelerin optimum tasarımı için av arama, parçacık sürü, yapay arı kolonisi, ateş böceği ve yarasa algoritmaları olmak üzere beş farklı optimizasyon tekniği kullanılmıştır.

1.1.1. Yarasa Algoritması (Bat Algorithm)

Yarasa algoritması (BA), 2010 yılında Xin-She Yang tarafından geliştirilen biyo-ilhamlı bir algoritmadır. BA, doğadaki yarasaların yankı davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş bir metasezgisel optimizasyon algoritmasıdır. Yarasalar avlarının yerini belirleme, veya engellerden kaçınma amaçlarıyla çıkartıkları sesin yankısını dinlerler. Yankının kendilerine geri dönme süresine göre hedeflerinin yakınlığını tespit ederler. Yarasa algoritmasında, bu süreç çeşitli optimizasyon problemlerine uyarlanır (Yang, 2010). Şekil 2'de BA'ya ait akış diyagramı gösterilmektedir.



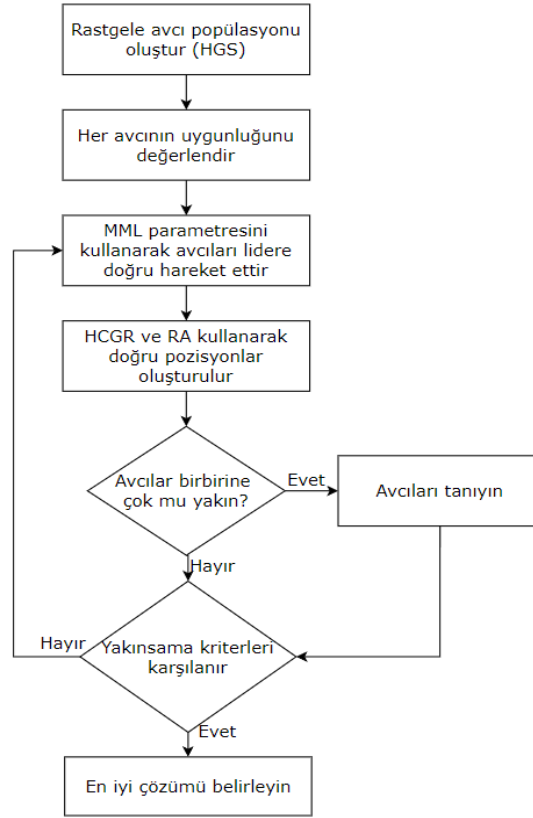
Şekil 2. Yarasa Optimizasyonu Akış Diyagramı (Bat Optimization Flowchart) (González-Patiño,2019)

1.1.2. Av Arama Algoritması (Hunting Search Algorithm)

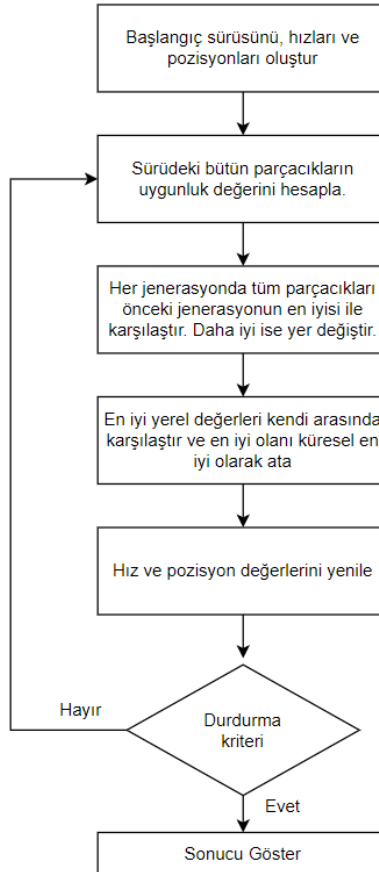
Av arama algoritması (HuS) hayvan gruplarının (aslanlar, yunuslar, kurtlar vb.) avlanmalarından esinlenerek geliştirilen bir optimizasyon yöntemidir. Bu hayvanların her birinin farklı bir avlanma şekli olsa da genellikle grupça bir av seçerler. Ve avı bir daire içine alıp, yakalayana kadar bu daireyi daraltırlar. Buna ek olarak grubun her üyesi pozisyonunu, avın pozisyonuna ve kendi pozisyonuna bağlı olarak belirler. Grubun her üyesi problem için bir çözüm sunar. Ve gruptaki yapay avcılar, gerçek hayvan avcılar gibi avı bulup yakalamakta iş birliği yapar. Çalışmadaki optimum çözüm av olarak düşünülebilir (Saka ve diğerleri, 2013). Şekil 3' te HuS için akış diyagramı gösterilmektedir.

1.1.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)

Parçacık Sürü optimizasyonu (PSO) yönteminin ilk çalışmasını Reynolds 1987 yılında kuş sürülerine benzer parçacıkları modelleyerek gerçekleştirmiştir (Reynolds,1987). Eberhart ve Kennedy bu modelleri optimizasyon problemlerinin çözümlerinde kullanmak üzerine yoğunlaşarak 1995 yılında popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon metodu olan PSO yöntemini geliştirmişlerdir (Kennedy ve Eberhart, 1995). Yöntem, sürünün besin kaynağı ararken veya bir tehlikeden kaçarken ortaya koyduğu davranış üzerine kuruludur. Sürüde bulunan bireylerden hiçbirinin besin kaynağının (optimum sonuç) yerini bilmediği halde tüm sürü bireylerinin başarılı bir şekilde kaynağa ulaşabilmesinden esinlenilmiştir. Şekil 4'te PSO için akış diyagramı gösterilmektedir.



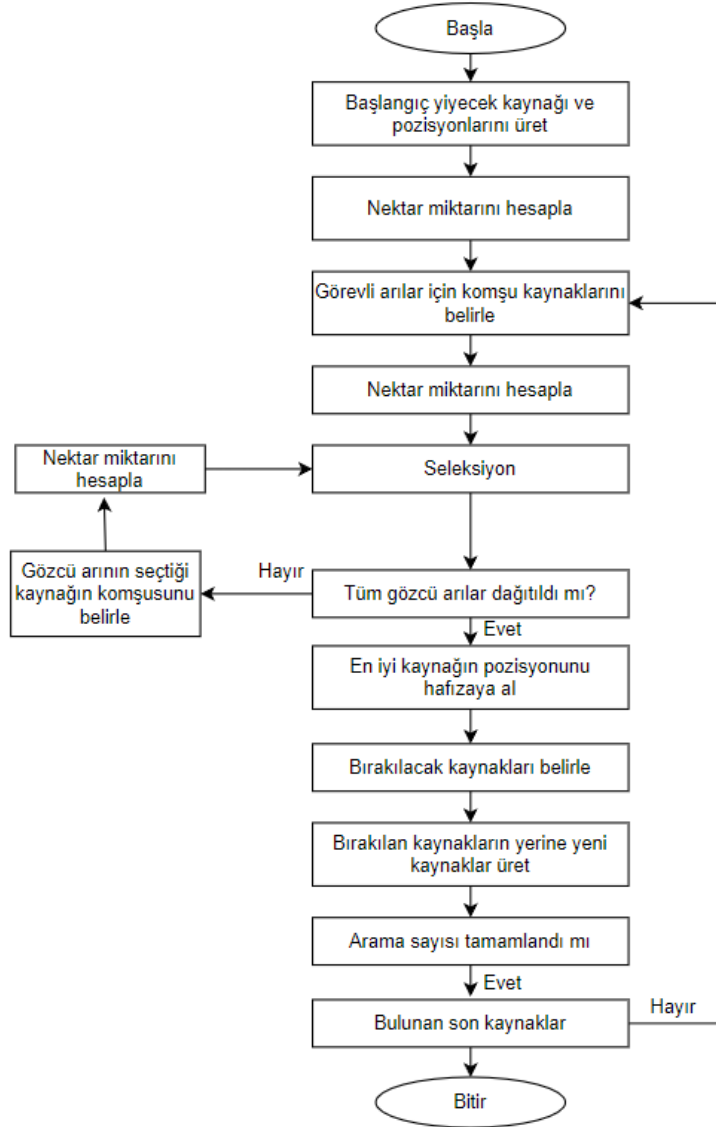
Şekil 3. Av Arama Optimizasyonu Akış Diyagramı (Prey Search Optimization Flowchart) (Bouzaida,2014)



Şekil 4. Parçacık Sürü Optimizasyonu Akış Diyagramı (Particle Swarm Optimization Flowchart) (Özsağlam, 2008)

1.1.4. Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony Algorithm)

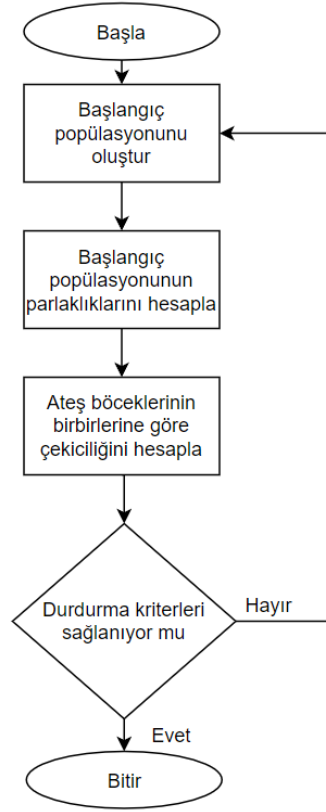
Yapay arı kolonisi algoritması (ABC) bal arılarının besin ararken gösterdiği davranıştan esinlenilerek geliştirilen bir algoritmadır. Algoritma mantığında farklı görevlere sahip olan üç çeşit arı bulunmaktadır. Besin kaynağını bulup nektarın miktarını ölçen ve nektara göre kıyaslama yaparak daha iyi besin kaynakları araştırıp bunların konumunu hafızasına alan grup 'işçi arılardır'. İşçi arılar kovanlarına döndüklerinde, hafızlarındaki bilgileri dans ederek diğer arı gruplarıyla paylaşırlar. Dansın süresi, besin kaynağındaki nektarın miktarına göre belirlenir. İkinci grup, işçi arıların dansını izleyen 'gözlemci arılardır'. Gözlemci arılar, gıda kaynağının ziyaret edilmeye değerliğini gözlemleyip, kaynağa uçup uçmamaya karar verir. Kovanın etrafında rastgele uçarak yeni gıda kaynaklarını araştıranlar 'izci arılardır'. Gıda kaynağı diğer arılar tarafından terk edilen işçi arılar, tekrar izci arı olarak yeni gıda kaynağı ararlar. Her gıda kaynağı, optimizasyon örneği için muhtemel bir çözüm olarak düşünülür ve gıda kaynağında bulunan nektar miktarı, çözümün uygunluk değerini temsil eder (Karaboga ve Basturk, 2008). Şekil 5'te ABC optimizasyonuna ait akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 5. Yapay Arı Optimizasyonu Akış Diyagramı (Artificial Bee Optimization Flowchart) (Kaya,2020)

1.1.5. Ateş Böceği Algoritması (Firefly Algorithm)

Ateş böceği algoritması (FA) üç prensibi temel alır (Yang, ve He,2013). Bunlar: İlk olarak tüm ateş böcekleri çift cinsiyetlidir. Bu şekilde her ateş böceği bir diğerini etkileme potansiyeline sahiptir. İkinci prensipte çekiciliğin, ateş böceğinin parlaklığı ile doğru orantılı olduğu ve uzaklık arttıkça parlaklığın ve dolayısıyla çekiciliğin azaldığı kabul edilir. İki ateş böceği arasında az parlak olan daha parlak olana doğru ilerler. Kendisinden daha parlak farklı bir ateş böceği olmayanlar rastgele hareket ederler. Üçüncü olarak ateş böceğinin parlaklığı amaç fonksiyonu etkinliği ile doğrudan ilgilidir (Çarbaş, 2016). Şekil 6' da FA'ya ait akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 6. Ateş Böceği Optimizasyonu Akış Diyagramı (Firefly Optimization Flowchart) (Baktır,2018)

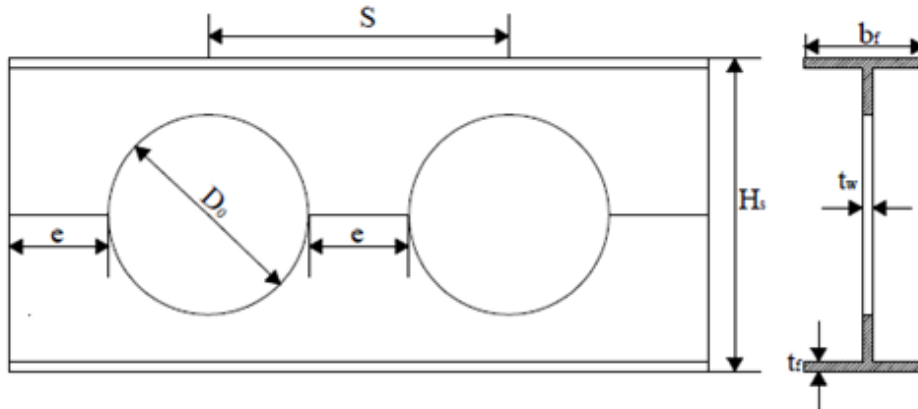
2. Optimum Tasarım Kriterleri (Optimum Design Criteria)

Minimum çelik çerçeve ağırlığını bulmanın amaçlandığı, dairesel boşluklu çelik çerçeve optimum tasarım problemi Eşitlik 1’de formüle edildiği gibidir.

$$W = \sum_{i=1}^q \gamma_i A_i L_i + \sum_{j=1}^m \gamma_j A_j L_j - \gamma_j \left(\pi \left(\frac{D_0}{2} \right)^2 N_b \right) \quad (1)$$

Bu denklemde, W : çelik çerçeve ağırlığı, γ : çelik yoğunluğu, L_i : i. eleman uzunluğu, A_i : i. eleman kesit alanı, q : tasarım değişkenleri toplam sayısıdır. Dairesel boşluklu kirişlere sahip çelik çerçeve tasarımları, LRFD-AISC (LRFD-AISC, 1999) şartnamesince öngörülenler doğrultusunda gerçekleştirilmiş olup çelik çerçeve ve dairesel boşluklu kiriş sınırlayıcılarının hepsinin sağlanması beklenmiştir.

2.1. Dairesel Boşluklu Kirişlerin Optimum Tasarım Kriterleri (Optimum Design Criteria for Circular Beams)



Şekil 7. Dairesel Boşluklu Kiriş Örneği (A Sample of Cellular Beam)

Şekil 7’de gösterilen D_0 boşluk çapı, S boşluk merkezleri arasındaki mesafe ve H_s hesaplanan son profil yüksekliği olarak gösterilir. Çözüm yapabilmek için g_1, g_2, g_3 ve g_4 sınırlayıcılarının sağlanması gerekmektedir.

$$g_1 = 1.08D_0 - S \leq 0 \quad (2)$$

$$g_2 = S - 1.60D_0 \leq 0 \quad (3)$$

$$g_3 = 1.25D_0 - H_s \leq 0 \quad (4)$$

$$g_4 = H_s - 1.75D_0 \leq 0 \quad (5)$$

M_u uygulanan moment değeri, M_p plastik moment kapasitesini göstermektedir. Kirişte eğilme kapasitesinin güvenli olarak sağlanması için Eşitlik 6’da verilen sınırlayıcıların içerisinde kalmalıdır.

$$g_5 = M_u - M_p \leq 0 \quad (6)$$

V_{smax} , mesnette oluşan kesme kuvvetini, P_v izin verilebilir kesme kuvvetini belirtir. Kirişin mesnet bölgesinde kesme açısından güvenli davranış göstermesi için Eşitlik 7 ile gösterilen şartın sağlanması gerekir.

$$g_6 = V_{smax} - P_v \leq 0 \quad (7)$$

Kirişin dairesel boşluklarında hesaplanan kesme kuvveti V_{omax} ile, izin verilebilir dikey kesme kuvveti ise P_{vy} ile gösterilir. Eşitlik 8, V_{omax} ’ın üst sınırını formüle eder.

$$g_7 = V_{omax} - P_{vy} \leq 0 \quad (8)$$

V_{max} hesaplanan yatay kesme kuvvetini, $P_{v\Box}$ ise izin verilebilir yatay kesme kuvvetini ifade eder. Eşitlik 9 V_{max} ’ın üst sınırını göstermektedir.

$$g_8 = V_{max} - P_{v\Box} \leq 0 \quad (9)$$

M_w herhangi bir kesitte oluşan maximum moment değerini, M_{max} izin verilebilir gövde momenti değerini belirtir. Eşitlik 10, M_{max} ’ın M_w ’dan büyük olma kısıtını gösterir.

$$g_9 = M_w - M_{max} \leq 0 \quad (10)$$

V_T , ti bölgesindeki dikey kesme kuvvetini, P_{vy} ise izin verilebilir dikey kesme kuvvetini temsil eder. Eşitlik 11, V_T ’nin üst sınırını ifade eder.

$$g_{10} = V_T - 0.5P_{vy} \leq 0 \quad (11)$$

P_o kesit gövdesine uygulanan dış kuvveti ve M ise dış momenti; M_p plastik moment kapasitesini, P_u ise kuvvet kapasitesini temsil eder. Eşitlik 12 aralarındaki ilişkiyi gösterir.

$$g_{11} = \frac{P_o}{P_u} + \frac{M}{M_p} - 1 \leq 0 \quad (12)$$

y_{max} kirişte oluşacak maximum deplasman değerini temsil eder. Eşitlik 13 ile y_{max} ’ın L ’nin $1/360$ ’undan küçük olması gerektiği belirtilir

$$g_{12} = y_{max} - \frac{L}{360} \leq 0 \quad (13)$$

2.2. Çelik Çerçeveler için Optimum Tasarım Kriterleri (Optimum Design Criteria for Steel Frames)

Eşitlik 14 ve Eşitlik 15, P_u uygulanan aksenal yük, M_u uygulanan moment, P_n aksenal yük kapasitesi, M_n moment kapasitesi ve ϕ azaltma katsayısı arasındaki bağıntıları gösterir.

$$g_1(x) = \left(\frac{P_u}{\phi P_n} \right) + \left(\frac{8}{9} \left(\frac{M_u}{\phi M_n} \right) \right) - 1.0 \leq 0 \quad \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \quad (14)$$

$$g_2(x) = \left(\frac{P_u}{2\phi P_n} \right) + \left(\frac{M_u}{\phi M_n} \right) - 1.0 \leq 0 \quad \frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0.2 \quad (15)$$

V_u uygulanan kesme kuvveti, V_n kesme kapasitesi ve ϕ azaltma katsayısı olmak üzere aralarındaki bağıntı Eşitlik 16 ile formülize edilir.

$$g_3(x) = \frac{V_u}{\phi V_n} - 1 \leq 0 \quad (16)$$

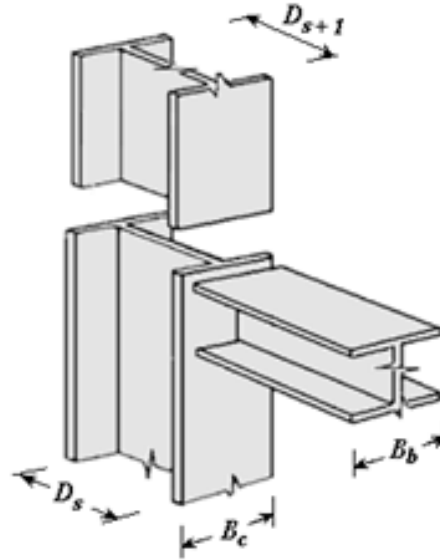
δ_j , j. kattaki yanal deplasman, δ_{j-1} , 'j-1'. kattaki yanal deplasman, δ_{ju} , izin verilebilir yanal deplasman ve ns , toplam kat sayısı olmak üzere Eşitlik 17, katlar arasındaki yanal deplasman kısıtını tanımlar.

$$g_4(x) = \frac{(\delta_j - \delta_{j-1})}{\delta_{ju}} - 1 \leq 0 \quad j = 1, \dots, ns \quad (17)$$

δ_i , en üst kat yanal deplasmanı ve nd kısıtlı deplasman sayısı olmak üzere Eşitlik 18 aralarındaki ilişkiyi gösterir.

$$g_5(x) = \frac{\delta_i}{\delta_{iu}} \leq 0 \quad i = 1, \dots, nd \quad (18)$$

Sınırlayıcılara ek olarak kolon ve kiriş bağlantıları açısından da tasarımın uygun olması için uygunluk sınırlayıcıları eklenir. Şekil 8'de B_b kiriş profilinin başlık genişliğini, B_c kolon profilinin başlık genişliği, D_s alt kolon profilinin yüksekliğini ve D_{s+1} üst kolon profilinin yüksekliğini temsil etmektedir. m_{s+1} üst kolonun birim boy ağırlığını, m_s alt kolonun birim boy ağırlığını temsil eder. Bu bağlamda 19., 20., ve 21. eşitliklerin uygunluk kısıtlayıcıları olarak sağlanması gerekmektedir.



Şekil 8. Kolon Kiriş Bağlantı Detayı (Column Beam Connection Detail)

$$g_6(x) = \frac{B_b}{B_c} - 1 \leq 0 \quad (19)$$

$$g_7(x) = \frac{D_{s+1}}{D_s} - 1 \leq 0 \quad (20)$$

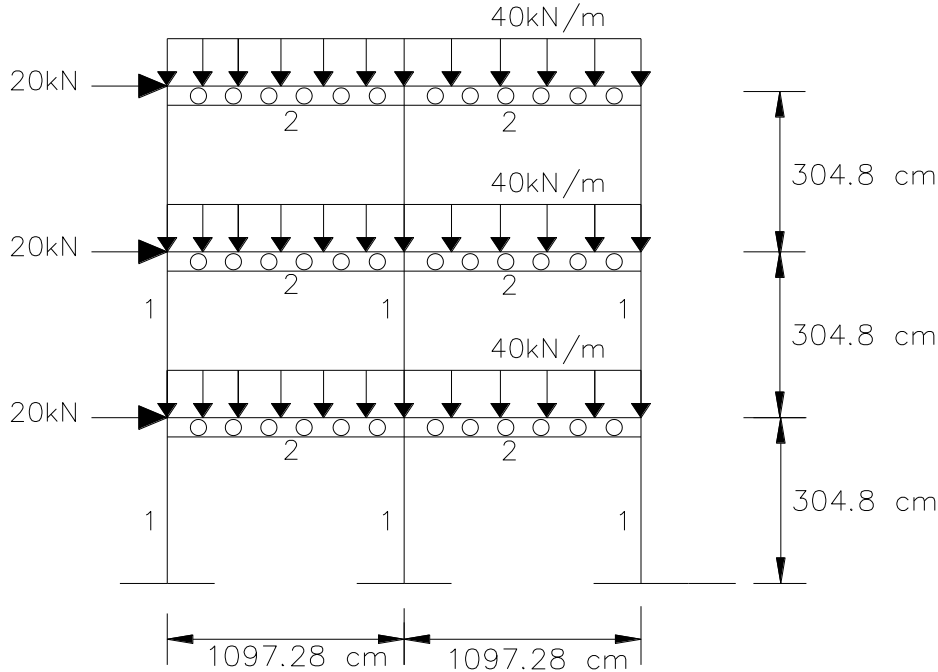
$$g_8(x) = \frac{m_{s+1}}{m_s} - 1 \leq 0 \quad (21)$$

3. Bulgular (Results)

Dairesel boşluklu kirişlere sahip üç farklı çelik çerçevenin beş farklı optimizasyon metodu ile (HuS, PSO, ABC, FA, BA) ağırlık optimizasyonu yapılırken LRFD-AISC yönetmeliğinin sınırlayıcıları kullanılmıştır. Tasarım değişkenleri (çerçeve çubuklarının çelik profil kesitleri) ayrı değişkenler olup LRFD'de belirtilmiş olan W kesitlerin tamamı çelik çerçeve kiriş ve kolonlarında kullanılmak üzere 1 ile 272 arasında numaralandırılmıştır. Çalışmada kıyaslama örneği olarak HuS algoritması ile minimum ağırlığa sahip kesitleri belirlenen dolu gövdeli kirişlere sahip çerçeve sonuçları da kıyaslanmıştır. Her algoritma 5000 iterasyon için çalıştırılmış, yakınsama sonuçları grafiklerle gösterilmiştir.

3.1. Üç Katlı İki Açıklıklı, Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çelik Çerçeve (Three Storey Two Span Steel Frame with Cellular Beams)

Üç katlı ve iki açıklıklı bir rijit çelik çerçeve örneği kirişleri dairesel boşluklu olacak şekilde tasarlanmış ve beş farklı optimizasyon yöntemi ile optimizasyona tabi tutulmuştur. Ölçüler, elemanların grup numaraları ve sisteme etkileyen dış yükler Şekil 9'da görüldüğü gibidir.



Şekil 9. Üç Katlı İki Açıklıklı Ve Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çelik Çerçeve (Steel Frame With Three-Story Two-Span And Circular Hollow Beams)

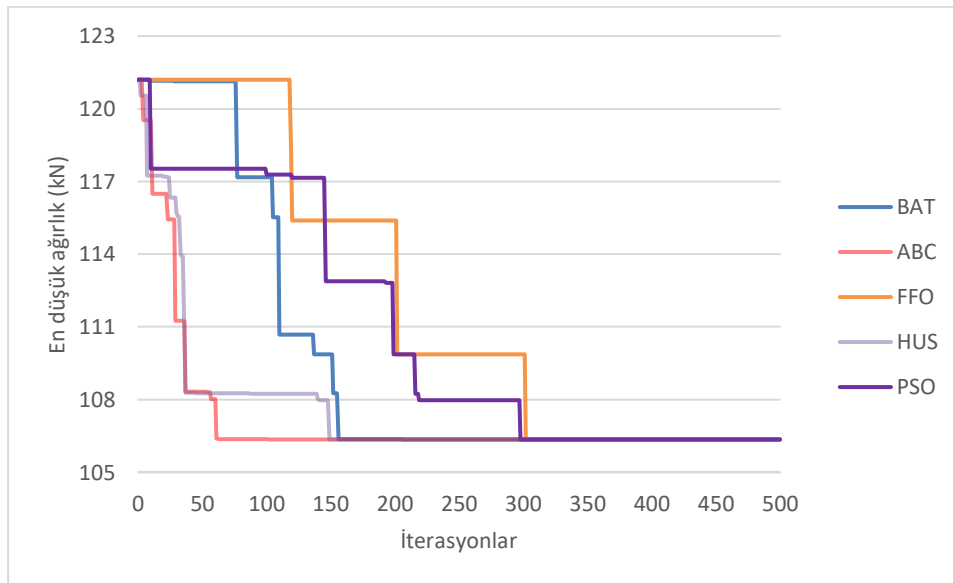
15 elemanlı bu çerçeve 2 farklı gruba ayrılmıştır. Fakat kirişler için de boşluk sayısı ve boşluk çapı olmak üzere 2 grup daha eklenmiştir. Çerçevdeki her yatay elemana 40 kN/m'lik yayılı yük ve bir tekil yanal yük uygulanmıştır. Bütün kolonlar zemine ankastre mesnetlerle mesnetlenmiş, en üst kat yatay ötelemesi 30.48 mm. ile sınırlandırılmıştır. Çeliğin elastisite modülü 200 Gpa alınmış, her bir çerçeve elemanın kontrolü LRFD şartnamesinde yer alan sınırlayıcılar dikkate alınarak yapılmıştır. Tablo 1'de optimizasyon algoritmalarının sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Dört Katlı Dört Açıklıklı Ve Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çelik Çerçeve Optimum Tasarım Sonuçlarının Karşılaştırılması (Comparison Of Optimum Design Results Of Steel Frame With Four-Story Four-Span And Circular Hollow Beams)

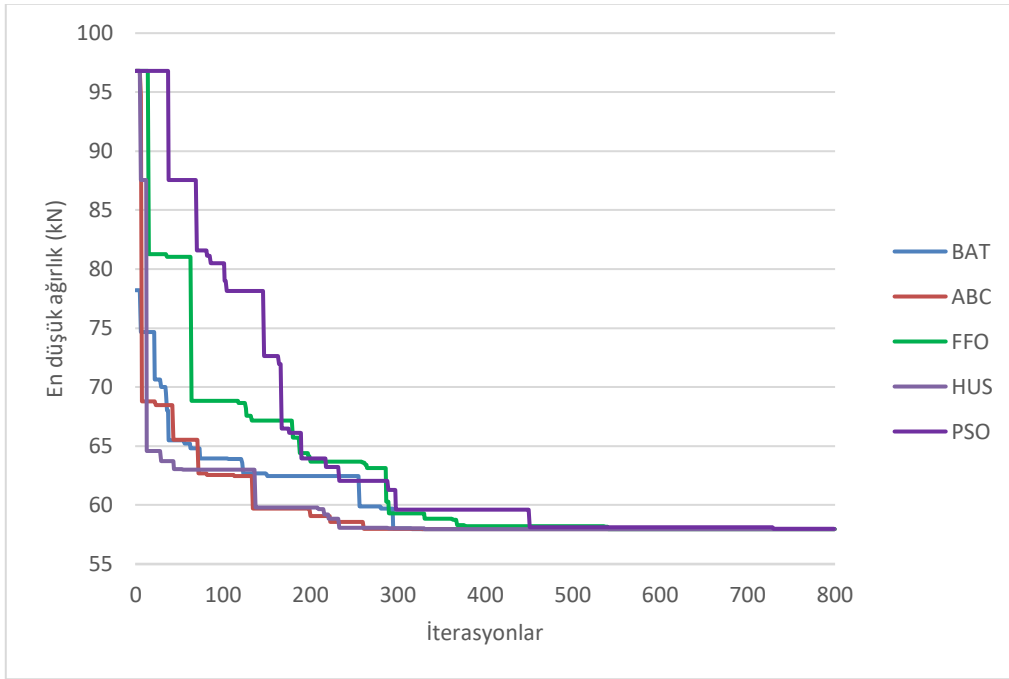
Grup No	Eleman Tipi	HUS ile Dolu Gövdeli Kirişlere Sahip Çerçeve [11]	HUS ile Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çerçeve	PSO ile Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çerçeve	ABC ile Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çerçeve	BA ile Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çerçeve	FA ile Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çerçeve
1	Kolon	W150X 37.1	W200X 35.9	W200X 35.9	W200X 35.9	W200X 35.9	W200X 35.9
2	Kiriş	W410X 46.1	W460X52	W460X 52	W460X52	W460X52	W460X52
En Üst Kat Yatay Öteleme(cm)		1.59	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Maksimum Zorlanma Oranı		0.99	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
Minimum Ağırlık (kN)		58.00	57.96	57.96	57.96	57.96	57.96
Kiriş Boşluk Sayısı		-	7	7	7	7	7
Kiriş Boşluk Çapı (mm)		-	561	561	561	561	561

4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada aynı yükü taşıyan dolu gövdeli kirişli ve dairesel boşluklu kirişli çelik çerçevelerin ağırlık kıyaslaması yapılmıştır. Doğan (Doğan, 2010), üç katlı ve iki açıklıklı dolu gövdeli kirişlere sahip bir çelik çerçeveyi Av arama algoritması ile optimum boyutlandırmış ve minimum ağırlığını Tablo 1’de görüldüğü üzere 117.7 kN olarak bulmuştur. Tablo 1’de görüldüğü üzere çalışma kapsamında aynı yüklere maruz ve aynı ölçülerdeki çelik çerçeve kirişlerinde optimum boyutlara sahip dairesel boşluklu kirişler kullanılmış ve en düşük çerçeve ağırlığı 106.35 kN olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde dört katlı ve dört açıklıklı çelik çerçeve Doğan (Doğan,2010) tarafından kirişleri dolu gövdeli olarak tasarlanmış ve optimum ağırlığı 58 kN olarak bulunmuşken Tablo 2’de görüldüğü gibi aynı çerçevenin kirişlerinin optimum özelliklere sahip dairesel boşluklu olarak tasarlanması ile çerçeve ağırlığı 57.96 kN olarak hesaplanmıştır. Kiriş elemanların boşluklu seçilmesi ile yapılan çerçeve optimizasyonunda ağırlığın azaldığı görülmektedir.



Şekil 11. Üç Katlı İki Açıklıklı Ve Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çelik Çerçeve Optimizasyonunda Algoritma Yakınsama Grafiklerinin Karşılaştırılması (Comparison Of Algorithm Convergence Graphs In Optimization Of Steel Frame With Three-Story, Two-Span And Circular Gap Beams.)



Şekil 12. Dört Katlı Dört Açıklıklı Ve Dairesel Boşluklu Kirişlere Sahip Çelik Çerçeve Optimizasyonunda Algoritma Yakınsama Grafiklerinin Karşılaştırılması (Comparison Of Algorithm Convergence Plots In Steel Frame Optimization With Four-Story Four-Span And Circular-Gapped Beams)

Üç katlı iki açıklıklı ve dairesel boşluklu kirişlere sahip çelik çerçeve optimizasyonunda beş farklı algoritmanın kendi içinde kıyaslanması Şekil 11’de, dört katlı dört açıklıklı ve dairesel boşluklu kirişlere sahip çelik çerçeve optimizasyonunda beş farklı algoritmanın kendi içinde kıyaslanması Şekil 12’de sunulmuştur. Her iki şekilden de görüldüğü üzere, tüm algoritmalar optimum sonucu bulabilse de en hızlı yakınsayan algoritmalar HUS ve ABC algoritmalarıdır. BA algoritması da onları takip eden algoritma olmuştur. En yavaş yakınsama hızına sahip algoritmalar ise FA ve PSO algoritmaları olmuştur.

Teşekkür (Acknowledgement)

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz. Proje, BAP birimi tarafından 2019-156 numarası ile desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Baktır A. E., 2018. Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları Kullanılarak Dinamik Ağırlık Ölçme Sisteminin Kimliklendirilmesi, Yüksek lisans Tezi, E.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Bouzaïda S., Sakly A., Faouzi M., 2014. Extracting TSK-type Neuro-Fuzzy model using the Hunting search algorithm, International Journal of General Systems, 43(1).
- Carbas S., 2016. Design optimization of steel frames using an enhanced firefly algorithm. Engineering Optimization, vol. 48, no. 12, 2007–2025.
- Carbas S, Toktas A, Ustun D., 2021. Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms for Engineering Optimization Applications. Singapore: Springer Nature Singapore, 1st ed. Pte. Ltd.
- Çiftçioğlu Özyüksel A., 2021. Kısıtlı Mühendislik Problemlerinin Karşılaştırmalı Ağırlık ve Maliyet Optimizasyonu., Mühendis ve Makine, vol. 62, no. 705, 784–805.
- Dogan E., 2010. Optimum design of rigid and semi-rigid steel sway frames including soil-structure interaction. PhD Thesis, Middle East Technical University, Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Erdal F., 2011. Ultimate Load Capacity of Optimally Designed Cellular Beams. PhD Thesis, Middle East Technical University, Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- González-Patiño D., Villuendas-Rey Y., Argüelles-Cruz A., Karray F., 2019. A Novel Bio-Inspired Method for Early Diagnosis of Breast Cancer through Mammographic Image Analysis, Journals Applied Sciences, Volume 9, Issue 21, 10.3390/app9214492. doi.org/10.3390/app9214492.

- Hamdia K M, Ghasemi H, Bazi Y, AlHichri H, Alajlan N, Rabczuk T., 2019. A novel deep learning based method for the computational material design of flexoelectric nanostructures with topology optimization. *Finite Elements in Analysis and Design*, 165:21–30.
- Karaboga D., Basturk B., 2008. On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm. *Applied Soft Computing*. Vol 8, No 1, 687-697.
- Kaveh A, Ghazaan M I., 2018. *Meta-heuristic Algorithms for Optimal Design of Real-size Structures*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Kaveh A., 2016. *Applications of Metaheuristic Optimization Algorithms in Civil Engineering*. Springer International Publishing.
- Kaya B., Eke İ., 2020. Yapay Arı Kolonisi Algoritması İle Yapılan Geliştirmeler ve Sonuçları, *Verimlilik Dergisi*, Sayı: 1, T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yayını.
- Kennedy J. and R. Eberhart R., 1995. Particle Swarm Optimization. In: *IEEE International Conference on Neural Networks*. IEEE Press, 1942–1948
- Khalilpourazari S. and Khalilpourazary S., 2019. An efficient hybrid algorithm based on Water Cycle and Moth-Flame Optimization algorithms for solving numerical and constrained engineering optimization problems. *Soft Computer*. vol. 23, no. 5, 1699–1722.
- LRFD-AISC, 1999. *Load and Resistance Factor Design*. American Institute of Steel Construction, IL, USA.
- Özsağlam M.Y., Çunkaş M., 2008. Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması, *Journal of Polytechnic*, Vol: 11 No: 4, 299-305, 2008.
- Rather S.A. and Bala P.S., 2020. *Analysis of Gravitation-Based Optimization Algorithms for Clustering and Classification*. IGI Global.
- Reynolds C.W., 1987. Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model. *ACM Computer, Graph*. vol. 21, no. 4, 25–34.
- Saka M.P., Doğan E., and Aydoğdu İ., 2013. Review and Analysis of Swarm-Intelligence Based Algorithms. In *Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation, Theory and Applications*. Elsevier, 26.
- Yang X.S., 2010. A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm. In *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization*. Springer, 65–74.
- Yang X S, Dey N, Fong S., 2020. *Springer Tracts in Nature-Inspired Computing (STNIC)*. Cham: Springer Nature.
- Yang, X. S., & He, X., 2013. Firefly algorithm: recent advances and applications. *International journal of swarm intelligence*, 1(1), 36-50.
- Zhuang X, Guo H, Alajlan N, Zhu H, Rabczuk T., 2021. Deep autoencoder based energy method for the bending, vibration, and buckling analysis of Kirchhoff plates with transfer learning. *European Journal of Mechanics-A/Solids*, 87: 104225.



DERİN ZEMİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİNDE NİHAİ TAŞIMA GÜCÜNÜN BELİRLENMESİ

Mukaddes Tuğçe DİKMEN*, Sıddıka Nilay KESKİN

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Derin Zemin Karıştırma Yöntemi,
Statik Eksenel Yükleme Deneyi,
Sonlu Elemanlar Yöntemi,
Nihai Taşıma Kapasitesi.

Öz

Bu çalışmada, Amasya İli, Merkez İlçesi'nde inşaatı yapılan konut türü yapı için temel zemini ıslahında uygulanan derin zemin karıştırma yönteminin incelemesi gerçekleştirilmiştir. Derin zemin karıştırma yöntemi, mevcut problemlili zeminlere çeşitli mekanik şaftlar vasıtasıyla katkı maddelerinin (bağlayıcı) enjekte edilerek karıştırılması esasına dayanır. Yöntem, kohezyonsuz zeminlerde genel olarak taşıma kapasitesi artırmak, oturmaları ve sıvılaşma potansiyelini azaltmak amaçlarıyla uygulanabilir. Bu çalışma kapsamında; taşıma gücü ve sıvılaşma problemi beklenen temel zemini için 80 cm çapında ve 15,00 metre boyunda derin zemin karıştırma kolonları tasarlanmıştır. Sahada yapılan statik eksenel yükleme deneyinden elde edilen sonuçlara göre literatürde yaygın olarak kullanılan Brinch Hansen %80, Chin Kondner, Decourt, Mazurkieicz ve Hirany Kulhawy yöntemleri ile derin karıştırma kolonu için nihai taşıma kapasitesi belirlenmiştir. Ayrıca tekil derin karıştırma kolonu Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar yazılımıyla modellenerek taşıma kapasitesi tahmini yapılmıştır. Sonuç olarak; teorik olarak hesaplanan taşıma kapasitesi değerine en yakın sonucu Mazurkieicz yöntemi vermiştir. Brinch Hansen %80 yönteminde ise düşük taşıma kapasitesi elde edilmiştir.

DETERMINATION OF ULTIMATE BEARING CAPACITY IN DEEP SOIL MIXING METHOD

Keywords

Deep Soil Mixing Method,
Static Axial Loading Test,
Finite Element Method,
Ultimate Bearing Capacity.

Abstract

In this study, an analysis of deep soil mixing method, which is applied in the improvement of the foundation soil of a residential type building in the central district of Amasya province, was carried out. The deep soil mixing method is based on the mixing of additives (binder) by injecting into existing problematic soils by means of various mechanical shafts. It is generally applied in cohesionless soils to increase bearing capacity, to reduce settlement and liquefaction potential. In this study, deep soil mixing columns with 80 cm diameter and 15.00 meters length were designed for the foundation soil, in which bearing capacity and liquefaction problems were expected. The ultimate bearing capacity for the deep mixing column was determined according to the results obtained from the static axial loading test conducted in the field, by using some widely used methods in literature, whose names are the Brinch Hansen 80%, Chin Kondner, Decourt, Mazurkieicz and Hirany Kulhawy. In addition, the carrying capacity of a single deep mixing column was estimated with the help of Plaxis 3D Foundation finite element software modelling. As a result, Mazurkieicz method gave the closest result to the theoretically calculated bearing capacity value. On the other hand, in Brinch-Hansen 80% method, the obtained bearing capacity was low.

Alıntı / Cite

Dikmen, M.T., Keskin, S.N., (2023). Derin Zemin Karıştırma Yönteminde Nihai Taşıma Gücünün Belirlenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 184-197.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. T. Dikmen, 0000-0001-5269-4719
S. N. Keskin, 0000-0002-0367-943X

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	03.06.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	23.08.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	02.10.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: mtugceaydogmus@gmail.com, +90535-871-4527

DETERMINATION OF ULTIMATE BEARING CAPACITY IN DEEP SOIL MIXING METHOD

Mukaddes Tuğçe DİKMEN*, Sıddıka Nilay KESKİN

Department of Civil Engineering, Isparta Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

Highlights

- Application of deep soil mixing method in stabilization of foundation soil.
- Interpretation of results from static axial loading test.
- Modelling of single deep soil mixing column by finite element software.
- Estimating the bearing capacity of single deep soil mixing column.

Graphical Abstract

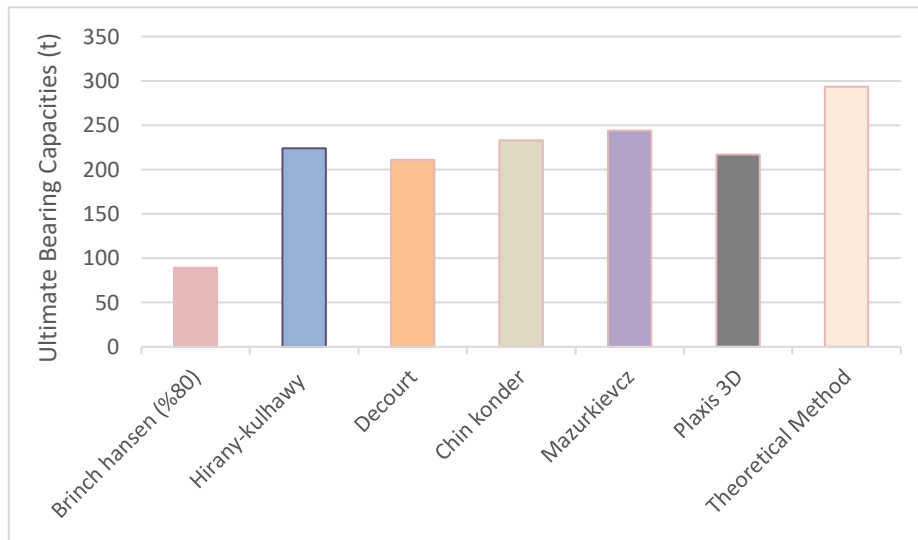


Figure. Comparison of ultimate bearing capacities

Purpose and Scope

The aim of the study is to improve the subsoil, where bearing capacity and liquefaction problems are expected, by the deep soil mixing method. In addition, the ultimate bearing capacity of the deep soil mixing columns created by this application is determined using different methods.

Design/methodology/approach

A static axial loading test was performed on the deep soil mixing column used in the study area. By the results of the static axial loading test, the ultimate bearing capacity of the deep mixing column was determined using the methods of Brinch Hansen 80%, Chin Kondner, Decourt, Mazurkieicz, and Hirany Kulhawy, which are widely used in the literature. At the same time, the single deep mixing column was modeled using Plaxis 3D Foundation finite element software to estimate bearing capacity.

Findings

As a result of the static axial loading test performed on a single deep soil mixing column, the ultimate bearing capacity values of the Mazurkieicz, Decourt, Chin-Konder, and Hirany-Kulhawy methods are obtained in the range of 210-244 tons and provided consistent results. The PLAXIS 3D Foundation finite element program is determined as 217 tons in the point loading simulation of the singular deep mixing column.

Originality

In this study, the deep soil mixing method was applied to improve the foundation soil where bearing capacity and liquefaction problems are expected. Moreover, the results of theoretical calculation, finite element program Plaxis 3D Foundation, and static axial loading tests were compared in determining the ultimate bearing capacity of each deep soil mixing column.

* İlgili yazar / Corresponding author: mtugceaydogmus@gmail.com, +90535-871-4527

1. Giriş (Introduction)

Yapı ihtiyacı, nüfus artışıyla doğru orantılı olarak her geçen gün talepler doğrultusunda artmaktadır. Elverişli zeminlerin yetersizliği beraberinde zemin mekaniği ve temel mühendisliği açısından problemlerle zeminlerde yapılaşmayı zorunlu hale getirmektedir. Problemlerle zeminlerin en yaygını, genellikle nehir ağzları yakınında, körfezlerin çevresi boyunca ve bataklıkların altında bulunan yumuşak, suya doygun killer ve siltlerdir. Bu tür zeminler yüksek deformasyon ve düşük dayanım göstermektedirler. Gevşek suya doygun kumlar ise sismik koşullar altında sıvılaşma potansiyeline sahiptirler. Tekrarlı yüklemeler, bu tür zeminlerde boşluk suyu basıncının artmasına sebep olarak efektif gerilme ve kayma dayanımı kaybına yol açmaktadırlar (Coduto, 2001).

Elverişsiz zeminlerde taşıma gücü yetersizliği, izin verilebilir toplam ve farklı oturumların aşılması, sıvılaşma, dolgu ve yarmalara ait stabilite sorunları, kazı sonrası meydana gelmesi muhtemel kabarmalar vb. olumsuzluklardan dolayı zemin ıslahı gereksinimi ortaya çıkmaktadır (Özaydın, 2012). Zemin ıslahı; zemin özelliklerinin hedeflenen tasarıma yönelik olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılarak iyileştirilmesidir. Teknolojik gelişmeler zemin ıslah yöntemlerinde büyük kolaylık ve önemli yenilikleri beraberinde getirmiştir. Günümüzde birçok ıslah yöntemi, uygun tasarımlar sonucu kolay ve pratik çözümler ortaya koymaktadır. Sahaya uygun zemin iyileştirme yöntemi seçiminde pekçok alternatif bulunmaktadır. Uygun ıslah yöntemi seçimi için zeminin türü, saha koşulları, civar yapılara ve çevreye etkileri, hedeflenen iyileştirmenin türü, ekonomi, malzeme, ekipman ve iş gücü temini gibi birçok parametre dikkate alınmaktadır.

Günümüzde çevre koşullarını ve güvenliğini iyileştirmek için derin zemin karıştırma yöntemi verimli bir şekilde uygulanmaktadır. Yöntem, mevcut problemlerle zeminlere çeşitli mekanik şartlar vasıtasıyla katkı maddelerinin (bağlayıcı) enjekte edilerek karıştırılması esasına dayanır. Karıştırma ekipmanı; birçok farklı şekil ve konfigürasyonda kesme ve karıştırma şaftlarına sahip tek veya çok şaftlı aletlerden oluşmaktadır. Karıştırma işlemi sonucunda; doğal zemine kıyasla mühendislik özellikleri iyileştirilmiş zemin kütleleri meydana gelmektedir. Elde edilen stabilize zemin malzemesi genellikle mevcut zemine göre daha yüksek dayanım, daha düşük geçirgenlik ve sıkışabilirliğe sahiptir. Üst yapının türü, boyutu ve önemi, iyileştirmenin amaç ve işlevi, yapım (inşaa) maliyetleri ve saha koşulları dikkate alınarak grup kolonları tipi, duvar tipi, ızgara (grid) tipi ve blok tipi uygulama modelleri seçilebilmektedir (Kitazume ve Terashi, 2012).

Yöntem bağlayıcının zemine enjekte türüne göre ıslak ve kuru derin zemin karıştırma yöntemi olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Çalışma kapsamında temel zemini ıslahında uygulanan ıslak derin zemin karıştırma yöntemi, genel olarak izole elemanlar, sürekli duvar ya da bloklar oluşturmak için birincil olarak çimento bazlı bağlayıcı (şerbet) kullanan tek veya çok şaftlı (burgu) bir yöntemdir. Yöntemin temel amacı homojen olarak işlenmiş zemin kütleleri oluşturmaktır. Bu nedenle; uygun su/çimento ve enjeksiyon oranının belirlenerek, iyileştirme alanı boyunca bağlayıcı ve zeminin koordinasyonlu bir şekilde karıştırılması gerekir (Bruce, 2000).

Mevcut yöntemlerin geliştirilmesi ve malzemelerdeki yenilikler (örneğin uçucu kül, alçıtaşı veya cüruf kullanımı gibi) devam etmektedir. Enjekte edilen bağlayıcılar, kullanılan yöntem, yerel mevcudiyete, işlenecek zemine, istenen ve amaçlanan sonuca göre uyarlanır. Genel olarak harç bileşenleri arasında çimento, su, bentonit, kil, alçıtaşı, uçucu kül ve çeşitli katkı maddeleri bulunur. Su/çimento oranı tipik olarak 1 ila 2 arasında değişmekle beraber su ve akışkanlarla yapılan ön delme faaliyetlerine ve zeminin geçirgenliğine bağlı olarak değişmektedir (Bruce, 2000).

Derin zemin karıştırma yöntemi genel olarak kohezyonlu ve organik zeminlerde yapılan uygulamalarda; taşıma kapasitesini artırmak, oturumları azaltmak, pasif toprak basıncını artırmak, aktif toprak basıncını azaltmak ve kazık/duvarların yatay dayanımlarını artırmak vb. amaçlarla uygulanmaktadır. Kohezyonsuz zeminlerdeki uygulama amaçları ise taşıma kapasitesi artırmak, oturumları ve sıvılaşma potansiyelini azaltmak şeklindedir (Coastal Development Institute of Technology, 2002).

Derin karıştırma yönteminin sıvılaşma kontrolüne yönelik uygulama alanı sıvılaşmanın önlenmesi, sıvılaşabilir zeminin güçlendirilmesi ve boşluk suyu basıncının azaltılmasını içerir. Derin zemin karıştırma yöntemi ile ön iyileştirme uygulamasında ise zeminlerin mukavemetinin artırılıp, sıkışabilirliğinin azaltılmasıyla yüzey ve yeraltı inşaatı sırasında yer hareketlerinin kontrolü ve zemin stabilitesi sağlanmış olur (Bruce, 2000).

Son yıllarda yapılan derin karıştırma yöntemine ait literatür incelendiğinde; Bahmanpour ve diğ. (2019) derin karıştırma kollarının sıvılaşma üzerindeki etkisini belirlemek için sarsma tablası modeli deney düzeneği kurarak; sarsma sıklığı, derin karıştırma kolon boyu, çapı, aralığı ve sınır koşulları gibi değişen parametrelerin boşluk suyu basıncı ve deformasyon üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada derin karıştırma kolonuna ait eğilme rijitliğinin kolonun performansına büyük etki sağladığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca derin karıştırma kolonlarının kayma dalgası hızı, boşluk suyu basıncı oluşum hızı ve deformasyonları azalttığı belirlenmiştir.

Erbeyoğlu (2019) derin karıştırma kolonları ile kolonları çevreleyen zeminin taşıma gücüne etkilerini üç adet tam ölçekli statik basınç yükleme deneyi ile incelediği tez çalışmasında; tasarımlarda taşıma gücünün zemin ve derin karıştırma kolonu alanları oranında dağıtılmasının daha gerçekçi ve ekonomik çözümler ortaya koyduğu sonucuna varmıştır. Aydın (2019) yapmış olduğu tez çalışmasında ise; derin karıştırma kolonları ile ıslah edilen bir vaka analizini inceleyerek; iyileştirme öncesi ve sonrasına ait analitik ve sonlu elemanlar ile hesaplanan oturma değerlerinin kıyaslamasını gerçekleştirmiş ve tutarlı sonuçlar elde etmiştir.

Kaptan ve diğ. (2021) derin karıştırma kolonları ile ıslah edilen zeminlerin gerilme-deformasyon davranışlarının öneminin belirlenmesi amacıyla 12 adet çalışmadan toplam 1090 veri kullanmışlardır. Oluşturulan bu veri tabanı ile tasarımlarda serbest basınç dayanımına göre uygun elastisite modül değerinin seçilmesine imkan sağlanmıştır. Ayrıca zemin türü, katkı maddesi, modülün arazi veya laboratuvar numunesinden elde edilmiş olması, E veya E₅₀ kullanımına gibi parametrelere göre serbest basınç mukavemeti-elastisite modülü ilişkileri belirlenmiştir.

Bu çalışma, "Özel Amasya Ataşehir Hastanesi ve Ataşehir Life Konutları Projelendirme İş'i" kapsamında imalatı yapılacak olan konut türü yapı için temel zemini ıslahında uygulanmış olan derin zemin karıştırma yöntemi uygulamasını içermektedir. İnceleme alanı için gerçekleştirilen geoteknik değerlendirmeler neticesinde; mevcut zeminde taşıma gücü ve sıvılaşma problemi beklenmektedir. Sahaya uygun zemin iyileştirme yöntemi seçimi için zeminin türü, saha koşulları, civar yapılara ve çevreye etkileri, hedeflenen iyileştirmenin türü, ekonomi, malzeme, ekipman ve iş gücü temini gibi birçok parametre dikkate alınmaktadır. Bu parametreler dikkate alındığında; ekonomi, zemin türüne uygunluğu, uygulama esnasında iyileştirme kalitesinin doğrulanabilmesi gibi nedenlerle inceleme alanı için derin zemin karıştırma kolonları ile ıslah yapılması uygun görülmüştür. Bu kapsamda temel zemininde uygulanan derin zemin karıştırma kolonlarının yükleme altındaki performansları incelenmiştir. Sahada gerçekleştirilen statik eksenel yükleme deney veri sonuçları ile literatürde yaygın olarak kullanılan Brinch Hansen %80, Chin Kondner, Decourt, Mazurkieicz ve Hirany Kulhawy yöntemleri kullanılarak derin karıştırma kolonlarının taşıma kapasiteleri (nihai taşıma güçleri) hesaplanmıştır. Ayrıca tekil derin zemin karıştırma kolonu Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar yazılımıyla modellenerek nihai taşıma gücü belirlenmiştir. Teorik olarak hesaplanan taşıma gücü değeri; Brinch Hansen %80, Chin Kondner, Decourt, Mazurkieicz ve Hirany Kulhawy yöntemleri ile elde edilen taşıma kapasiteleri ve Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar yazılımından elde edilen sonuç ile karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Geoteknik Değerlendirme (Geotechnical Evaluation)

İnceleme konusu olan konut yapısı yaklaşık 768 m² taban alanına sahip olup, 2 Bodrum+Zemin+11 Normal kattan oluşmaktadır. Temel boyutları yaklaşık olarak 16,65 metre x 46,10 metredir. Bina taşıyıcı sistemi betonarme olarak belirlenmiştir. Radye temel tabii zemin kotundan itibaren yaklaşık -6,90 m kotunda inşa edilecektir. Üst yapıdan aktarılacak maksimum taban gerilmesinin 19,00 t/m² olacağı statik proje müellifi tarafından iletilmiştir (Sağlam, 2017).

İnceleme alanındaki zemin birimlerinin yanal ve düşey yönlerdeki değişimlerini belirlemek amacıyla 6 farklı noktada 5 adet 15,00 m ve 1 adet 20,00 metre derinlikli olmak üzere toplam 95,00 m derinlikte sondaj kuyusu açılmıştır. Yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre yer altı suyu seviyeleri 4,50-5,00 metre olarak belirlenmiştir. Zemin etüt raporunda yapılan değerlendirmeler sonucunda yüzeyden yaklaşık olarak 0,20 metre tabaka kalınlığında bitkisel toprak, altındaki 0,20-9,50/10,00 metre tabaka aralığında yer yer silt-kum ara bantlı kahverengi renkli kil tabakası, devamında ise az çakıllı siltli kum tabakası birimler tespit edilmiştir. Temel derinliği dikkate alındığında, yapının yer yer silt-kum ara bantlı kahverengi renkli kil birimlere oturacağı görülmektedir. Bununla birlikte; sondaj kuyularından farklı derinliklerde alınan 12 adet SPT ve 2 adet UD örnekleri üzerinde laboratuvar deneyleri (3 eksenli basınç deneyi, elek analizi, Atterberg limit deneyi vb) yapılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Laboratuvar Deney Sonuçları (Laboratory Test Results)

Sondaj no	Numune no	Derinlik (m)	Su muhtevası. wn (%)	γ_n (t/m ³)	Atterberg limitleri			Elek analizi		Sınıflama	Üç eksenli basınç deneyi	
					LL	PL	PI	+No.4 Kalan (%)	-No.200 Geçen (%)		C (kg/cm ²)	Ø (°)
SK-1	UD	4,50-5,00	24,20	1,95	44,80	22,70	22,10	0,00	79,20	CL	0,46	5
SK-2	UD	3,00-3,50	26,40	1,93	42,50	23,80	18,70	0,00	82,60	CL	0,45	6
SK-6	SPT	1,50-1,95	26,30	1,88	35,60	20,10	15,50	0,00	73,20	CL	-	-
SK-6	SPT	3,00-3,45	22,40	1,91	39,00	21,50	17,50	0,00	76,10	CL	-	-
SK-6	SPT	4,50-4,95	24,20	1,94	40,20	20,60	19,60	0,00	80,60	CL	-	-
SK-6	SPT	6,00-6,45	23,70	1,87	39,00	20,90	18,10	0,00	75,40	CL	-	-
SK-6	SPT	7,50-7,95	25,60	1,88	40,30	21,60	18,70	0,00	78,50	CL	-	-
SK-6	SPT	9,00-9,45	24,00	1,92	42,50	22,70	19,80	0,00	81,20	CL	-	-
SK-6	SPT	10,50-10,95	25,30	1,94	41,40	20,40	21,30	0,00	82,50	CL	-	-
SK-6	SPT	12,00-12,45	27,50	1,71	NP	NP	NP	0,00	37,80	SM	-	-
SK-6	SPT	13,50-13,95	25,60	1,85	40,50	22,10	18,40	3,80	58,70	CL	-	-
SK-6	SPT	15,00-15,45	19,30	1,76	NP	NP	NP	55,10	23,70	GC	-	-
SK-6	SPT	16,50-16,95	6,30	1,74	NP	NP	NP	59,70	6,10	GP	-	-
SK-6	SPT	18,00-18,45	20,80	1,72	NP	NP	NP	25,80	41,70	SC	-	-

İnceleme alanında açılan sondaj kuyularında, zeminin mühendislik özelliklerinin belirlenebilmesi ve parametrelerinin saptanabilmesi amacıyla; 1,5 m aralıklarla standart penetrasyon testi (SPT) yapılmıştır. Zemin etüt raporunda verilmiş olan zemin profiline uygun olarak ortalama SPT-N değerleri üzerinde uygulanan düzeltme faktörleri sonucunda elde edilen ortalama $N_{1,60}$ değerleri Tablo 2’de verilmektedir. Tablo 2’deki N_{60} ise derinlik düzeltilmesi uygulanmamış düzeltilmiş SPT değeridir. Buradaki zemin sınıflandırmasında CL yer yer silt-kum ara bantlı kahverengi renkli kil tabakasını; SM ise az çakıllı siltli kum tabakasını temsil etmektedir.

Tablo 2. Analize Esas Ortalama Sondaj Değerlendirme Tablosu (Average Drilling Evaluation Table Based On Analysis)

Derinlik (m)	Zemin türü	N	C_E	C_B	C_S	C_R	σ'_{vo} (kPa)	N_{60}	C_N	$N_{1,60}$
1,50	CL	7	0,75	1,00	1,00	0,75	28,50	4	-	4
3,00		8	0,75	1,00	1,00	0,75	57,00	4	-	4
Y.A.S.S. 4,50 m										
4,50	CL	10	0,75	1,00	1,00	0,85	85,50	6	-	6
6,00		12	0,75	1,00	1,00	0,95	100,50	9	-	9
7,50		14	0,75	1,00	1,00	0,95	115,50	10	-	10
9,00		16	0,75	1,00	1,00	0,95	130,50	11	-	11
10,50		20	0,75	1,00	1,00	1,00	145,50	15	-	15
12,00	SM	24	0,75	1,00	1,00	1,00	158,70	18	0,78	14
13,50		28	0,75	1,00	1,00	1,00	173,70	21	0,74	15
15,00		32	0,75	1,00	1,00	1,00	188,70	24	0,71	17
16,50		35	0,75	1,00	1,00	1,00	203,70	26	0,69	18
18,00		35	0,75	1,00	1,00	1,00	218,70	26	0,66	17
19,50		36	0,75	1,00	1,00	1,00	233,70	27	0,64	17

Yapılan geoteknik değerlendirmeler neticesinde zeminin emniyetli taşıma gücü Spt-N deney sonuçları kullanılarak Meyerhof (1956) yöntemine göre 11,00 t/m² olarak hesaplanmış olup; bu değer statik müellifi tarafından çözüm sonucunda elde edilen maksimum gerilme değeri olan 19,00 t/m²’den düşük olmasından dolayı temelin oturacağı zeminde taşıma gücü problemi beklenmektedir. Ayrıca inceleme alanına ait 7,20 moment büyüklüğündeki deprem için sivilaşma değerlendirmesi 10,00-20,00 metre derinliği arasında mevcut olan az çakıllı siltli kum birimler için gerçekleştirilmiş olup; 10,00-18,00 metre aralığındaki az çakıllı siltli kum birimlerde sivilaşma potansiyeli olduğu belirlenmiştir.

2.2. Derin Zemin Karıştırma Yöntemi ile Zemin İslahı (Soil Improvement with Deep Soil Mixing Method)

Muhtemel taşıma gücü ve sıvılaşma problemleri beklenen yapı temellerin oturacağı zeminde "derin zemin karıştırma metodu" ile zemin ıslahı yapılmasına karar verilmiştir. Bu bağlamda, temeller altında 80 cm çapında 15,00 metre uzunluğunda derin karıştırma kolonları tasarlanmıştır. Uygulanması planlanan derin karıştırma kolonları için yapılan hesaplarda, iyileştirme kotu altındaki zemin tabakaları için Tablo 3'de verilen zemin parametreleri kullanılmıştır. Ayrıca, zemin etüt raporunda belirtildiği üzere yer altı suyu seviyesinin yüzeyden 4,50 metre aşağıda olduğu, yapılan hesaplarda göz önüne alınmıştır.

Tablo 3. Hesaba Esas İdealize Zemin Modeli Ve Parametreleri (Idealized Soil Model And Parameters Based On The Calculation)

No.	Açıklama	Tabaka Kotları (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	B. Hacim Ağırlığı γ (kN/m ³)	Drenajsız Kohezyon c_u (kPa)	İçsel Sür. Açısı ϕ' (°)
1	Kil	6,90-10,00	3,10	18,00	80	-
2	Kum (çevre)	10,00-18,00	8,00	18,50	-	32
3	Kum (uç)	18,00-21,90	3,90	18,50	-	33

Derin karıştırma kolonlarının taşıyabileceği nihai taşıma kapasitesi uç direnci ve çevre sürtünmesi bileşenlerinin toplamından oluşmaktadır. İnceleme alanı için uygulanan derin zemin karıştırma kolonuna ait teorik taşıma kapasitesi hesabı aşağıda verilmiştir.

Derin karıştırma kolonlarına ait sürtünme direnci temasta olduğu zemin tabakalarındaki sürtünme dirençlerinin toplanması sonucu elde edilmektedir.

$$Q_{\zeta} = \sum p * \Delta l_i * f_i \quad (1)$$

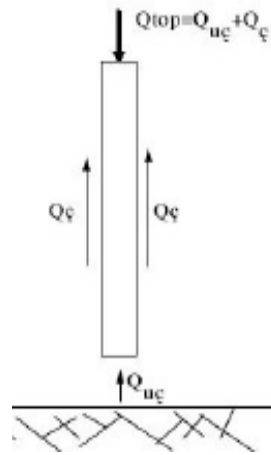
Burada;

Q_{ζ} : Derin karıştırma kolonu çevre taşıma kapasitesini,

Δl_i : Derin karıştırma kolonunun değişik zemin tabakaları içindeki uzunluğunu,

f_i : Derin karıştırma kolonunun her bir zemin tabakası içindeki birim çevre sürtünmesini,

p : Derin karıştırma kolon enkesidinin çevre uzunluğunu temsil etmektedir.



Şekil 1. Statik Kazık Formülleri İle Kazık Taşıma Kapasitesi Hesaplanması (Birand, 2007) (Calculation Of Pile Bearing Capacity With Static Pile Formulas)

Kohezyonsuz ($c=0$) zeminlerde derin karıştırma kolonu uç taşıma kapasitesi ise Eşitlik (2) ile hesaplanabilmektedir.

$$Q_{u\zeta} = A_p * \sigma_v * (N_q - 1) \quad (2)$$

Burada;

$Q_{u\zeta}$: Derin karıştırma kolonu uç taşıma kapasitesini,

σ_v : Efektif düşey gerilmeyi,

A_p : Derin karıştırma kolonu kesit alanını,

N_q : Zeminin içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayısını temsil etmektedir.

Hesaplamalar sonucunda;

$$Q_c = 172,50 \text{ ton}$$

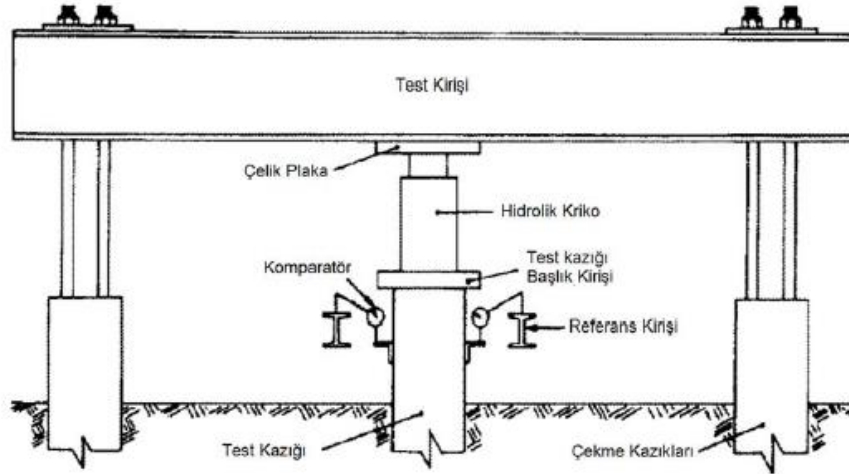
$$Q_{uç} = 121,00 \text{ ton}$$

$$Q_{top} = Q_{uç} + Q_c = 172,50 + 121,00 \approx 293,50 \text{ ton olarak bulunmuştur.}$$

GK=3,00 olarak alındığında emniyetli kolon taşıma kapasitesi; $Q_{top(emn)} = Q_{uç(emn)} + Q_{c(emn)} \approx 97,00 \text{ ton}$ elde edilmiştir.

2.3. Statik Eksenel Yükleme Deneyi (Static Axial Loading Test)

“Özel Amasya Ataşehir Hastanesi ve Ataşehir Life Konutları Projelendirme İşi” kapsamında inceleme alanı için belirlenen bir adet derin zemin karıştırma kolonu üzerinde kademeli yavaş statik eksenel basınç yükleme deneyi yapılmıştır. Zemin koşulları ve sistemin taşınma bedeli dikkate alındığında proje kapsamında çekme kolonlu sistem uygulanmıştır. Yükleme testinde; 1 adet test kolonu ve 2 adet çekme kolonu mevcuttur. Test yapılacak kolon etrafında inşa edilen kolonlar, çelik kirişler vasıtasıyla çekme elemanı vazifesi görmektedir (Şekil 2) (Can ve Acar, 2016).



Şekil 2. Çekme Kolonlu Yükleme Testi Örneği (Can Ve Acar, 2016) (Example Of Tensile Column Loading Test)

Statik eksenel basınç yükleme deneyinde 300 ton kapasiteli bir adet hidrolik krikodan faydalanılmıştır. Deney sırasında, yüklemeye dolaylı olarak derin karıştırma kolonlarında oluşan hareketler, kolon başlığına bağlanmış ve test kolonundan bağımsız referans kirişlere oturtulan, 100 mm kapasiteli ve 0,01 mm hassasiyette iki adet komparatör vasıtasıyla ölçülmüştür. Komparatörlerin uçlarının temas yüzeylerin temiz ve pürüzsüz olması sağlanmıştır. İnceleme alanına ait deney düzeneği Şekil 3’de gösterilmiştir (Can ve Acar, 2016).



Şekil 3. İnceleme Alanına Ait Yükleme Deney Düzeneği (Can ve Acar, 2016) (Loading Test Setup Belonging To The Study Area)

Statik eksenel basınç yükleme deneylerinin uygulanması sırasında 97 ton proje yükü dikkate alınmıştır. Deney yapılan derin karıştırma kolonu öncelikle 97,00 ton değerine kadar yüklenmiş ve boşaltılmış, daha sonra ise proje yükünün 1,5 katına denk gelen 145,50 ton değerine kadar yüklenmiş ve tekrar boşaltılmıştır.

2.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Method)

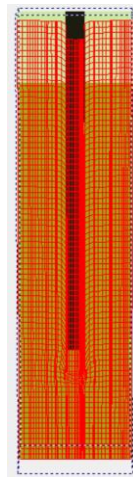
Sonlu eleman yöntemi; mühendislik ve matematiksel modellerde sıklıkla kullanılan bir sayısal analiz yöntemidir. Geoteknik mühendisliğinde sonlu eleman yöntemi ile geometrik olarak son derece karmaşık modeller tasarlanabilmektedir. Analizlerde zemin kesiti, zemin özellikleri ve zeminin yapısal modeli, sonlu eleman modelinin boyutları, elemanların şekil ve boyutları, temel-zemin ara yüzey elemanlarının kullanılması, yüklemenin doğrusal olup olmaması sonuçların gerçeğe yakınlığını doğrudan etkilemektedir. Analizlerin gerçeğe yakın sonuçlar verebilmesi; seçilen zemin modelinin ve bu modellerde kullanılan zemin parametrelerinin gerçeğe uygun olmasına bağlıdır (Plaxis, 2019).

Bu çalışma kapsamında kullanılan Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar programı, geoteknik mühendisliği projelerinde yer değiştirme ve taşıma gücü analizleri için özel olarak geliştirilmiştir. İnceleme alanı için tasarlanan 80 cm çapında ve 15,00 m uzunluğundaki tekil derin zemin karıştırma kolonu; 6,00 metre*6,00 metre*20,00 metre boyutlarındaki zemin içerisine Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar yazılımında modellenerek göçme yükü tayini için genel bir yaklaşım hedeflenmiştir. Modellenen tekil derin zemin karıştırma sistemi için Mohr-Coulomb zemin modeli seçilerek, kolon orta noktası üzerine 250 tonluk noktasal yük tanımlanmıştır. Derin zemin karıştırma kolonu, Plaxis-3D sonlu elemanlar programında lineer elastik malzeme modeli seçimiyle rijit bir zemin gibi tanımlanmıştır. Modellenen derin zemin karıştırma kolonu ve zeminlere ait parametre seçimi için inceleme alanında yapılan saha ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler kullanılmıştır. Zamana bağlı olarak boşluk suyu basıncının sönmüneceğinden dolayı analizlerde drenajlı zemin parametrelerin seçimi uygun görülmüştür. Buna göre malzeme modelleri ve değişken parametreler Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Plaxis-3D Foundation Programında Kullanılmış Zemin Modelleri Ve Parametreler (Soil Models And Parameters Used In Plaxis-3D Foundation Program)

Zemin Parametreleri	Kil	Kum	Derin Karıştırma Kolonu
Zemin modelleri	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Lineer elastik
Malzeme tipi	Drenajlı	Drenajlı	Non-porous
Kuru birim hacim ağırlık, γ (kN/m ³)	17,50	18,00	24,00
Doygun birim hacim ağırlık, γ_{sat} (kN/m ³)	18,00	18,50	-
E_{ref} (kN/m ²)	11475	45000	11586000
Poisson oranı, ν_{ur}	0,35	0,30	0,30
Kohezyon, c (kPa)	10	2	
İçsel sürtünme açısı, ϕ (°)	30	33	
Dilatasyon açısı, Ψ (psi)	0	3	
Zemin modelleri	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Lineer elastik

Şekil 4'de gösterilen analize esas yapısal eleman için orta sıklıkta ağ (medium mesh) seçilmiş olup kolon kenar bölgelerinde sıklaştırma yapılmıştır.



Şekil 4. Yapısal Elemana Ait Geometri Ve Ağ Modeli (Geometry And Mesh Model Of Structural Element)

2.5. Statik Eksenel Yükleme Deneylelerinden Elde Edilen Veriler ile Derin Karıştırma Kolonu Nihai Taşıma Kapasitenin Belirlenmesi (Determination of Deep Mixing Column Ultimate Bearing Capacity with Data Obtained from Static Axial Loading Tests)

Statik eksenel basınç yükleme deney sonuçları kullanılarak literatürde bulunan yöntemlerle derin karıştırma kolonu göçme yükü tahmini yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında literatürde sıklıkla kullanılan bazı yöntemlere ait incelemeler verilmektedir.

Brinch - Hansen %80 (1963) Yöntemi

Brinch-Hansen %80 (1963) yöntemine göre, uygulanan yükün %80'ine denk gelen oturmanın 4 katı oturmaya sebep olan yük göçme yükü olarak kabul edilir. Bu yöntem için öncelikle $\Delta^{0.5}/Q$ ile Δ arasında bir grafik oluşturulur. Bu grafikten elde edilen doğrunun denklemi Eşitlik (3) 'te ifade edilmektedir.

$$\Delta^{0.5}/Q = C_1 \times \Delta + C_2 \quad (3)$$

Burada;

Q : Yükleme deneyi sırasında uygulanan yük,

Δ : Yükleme deneyi sırasında okunan oturma değerini,

C₁: Doğrunun eğimini

C₂: Doğrunun $\Delta^{0.5}/Q$ eksenini kestiği noktayı ifade etmektedir.

Brinch - Hansen %80 yönteminde kolonun taşıma kapasitesi ise Eşitlik (4) yoluyla hesaplanır.

$$Q_{ult} = 1 / (2 \times \sqrt{C_1 \times C_2}) \quad (4)$$

Chin Kondner (1970) Yöntemi

Chin Kondner (1970) yöntemine göre, her yük değerine karşılık gelen oturma, yük değerine bölünerek oturma/yük –oturma grafiği oluşturulur. Grafikten elde edilen doğrunun denklemi Eşitlik (5) 'de verilmiştir.

$$\Delta/Q = C_1 \times \Delta + C_2 \quad (5)$$

Burada;

Q : Statik eksenel basınç yükleme deneyi sırasında uygulanan yükü,

Δ : Statik eksenel basınç yükleme deneyi sırasında okunan oturma değerini,

C₁: Chin Kondner grafiğindeki doğrunun eğimi

C₂: Chin Kondner grafiğindeki Doğrunun oturma/yük eksenini kestiği noktayı ifade etmektedir.

Bu grafikte çizilen doğrunun eğiminin tersi ($1/C_1$) ile kolonun taşıma kapasitesini (Q_{ult}) elde edilir.

$$Q_{ult} = 1/C_1 \quad (6)$$

Mazurkiewicz (1972) yöntemi

Mazurkiewicz (1972) yöntemine göre; yük-oturma eğrisi parabolik kabul edilerek, yük-oturma grafiğindeki oturma eksenini eşit aralıklara bölünür. Oturma eksenini eşit aralıklara bölen doğruların yük – oturma eğrisini kestiği noktalardan oturma eksenine paralel doğrular çizilir. Bu doğruların yük eksenini kestiği noktalardan yük eksenine 45°'lik eğimli doğrular çizilerek oturma eksenine paralel doğrular ile kesiştirilir. 45°'lik eğim yapan doğruların oluşturduğu üçgenlerin tepe noktalarını birleştiren bir doğru çizilir ve bu doğrunun yük eksenini kestiği noktadan kolonun taşıma kapasitesi elde edilir.

Decourt (1999) Yöntemi

Decourt (1999) yöntemine göre; her yük, kendi yük değerine karşılık gelen oturma değerine bölünerek yük – oturma/yük grafiği oluşturulur.

Elde edilen grafikteki eğri x eksenine yaklaştıkça doğrusal hale gelir. Doğrunun x eksenini kestiği nokta kolonun taşıma kapasitesini (Q_{ult}) verir.

$$Q_{ult} = C_2/C_1 \quad (7)$$

Burada;

C₁: Decourt (1999) grafiğindeki doğrunun eğimi

C₂: Decourt (1999) grafiğindeki Doğrunun düşey eksenini kestiği nokta

Q_{ult} : Göçme yükü

Hirany-Kulhaway (2002) Yöntemi

Hirany-Kulhaway (2002) yöntemine göre; yük – oturma eğrisinin, kolon çapının %4'ü kadar oturma değerini kestiği nokta, o kolonun taşıma kapasitesini vermektedir.

3. Bulgular (Results)

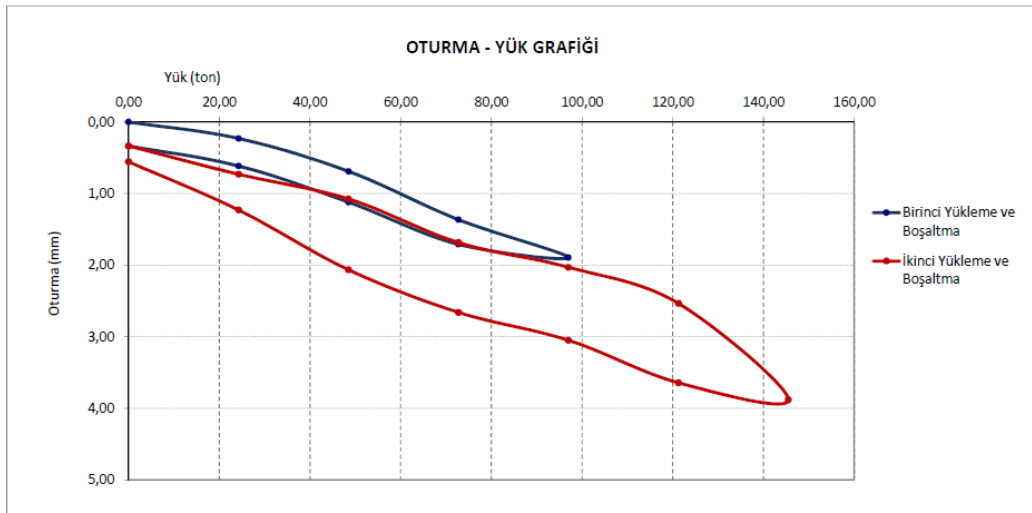
3.1. Statik Eksenel Yükleme Deneyi Sonuçları (Static Axial Loading Test Results)

Proje kapsamında, arazide Ø80 çapında ve 15 metre boyunda bir adet derin zemin karıştırma kolonu üzerinde yapılmış kademeli eksenel statik yükleme deneyine ait zaman yük oturma değerleri Tablo 5'de verilmiştir. Kolon yükleme testi sonuçlarına göre, 97 ton (tasarım yükü) yükleme sonucunda toplam oturma 1,90 mm olup, kalıcı oturma 0,34 mm olarak belirlenmiştir. Bu durumda oluşan elastik oturma 1,56 mm olarak ölçülmüştür. İkinci yükleme durumunda, proje tasarım yükünün 1,5 katı olan 145,50 ton yük için, toplam oturma 3,88 mm olup, kalıcı oturma 0,59 mm olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde elastik deplasman ise 3,29 mm olarak ölçülmüştür.

Tablo 5. Yükleme Deneyi Oturma Değerleri (Can Ve Acar, 2016) (Load Test Settlement Values)

Proje yükü (%100)	Uygulanan Yük (ton)	Okuma Süresi (dk)	Oturma (mm)
0	0	0	0,00
25	24,25	30	0,23
50	48,50	30	0,69
75	72,75	30	1,37
100	97,00	120	1,90
75	72,75	10	1,71
50	48,50	10	1,12
25	24,25	10	0,62
0	0	30	0,34
25	24,25	30	0,73
50	48,50	30	1,08
75	72,75	30	1,69
100	97,00	30	2,03
125	121,25	180	2,54
150	145,50	10	3,88
125	121,25	10	3,65
100	97,00	10	3,05
75	72,75	10	2,66
50	48,50	10	2,07
25	24,25	10	1,23
0	0	30	0,59

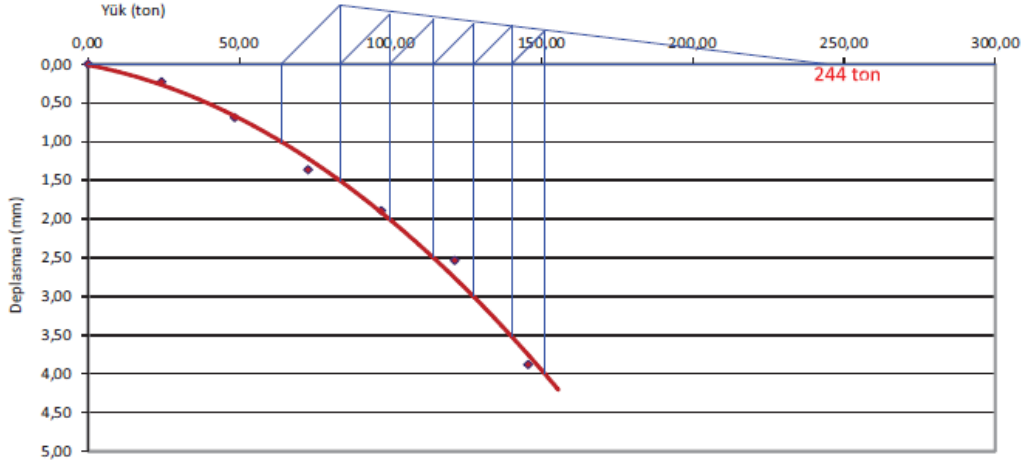
Tablo 5'deki yük ve oturma değerlerine göre elde edilen oturma-yük grafiği ise Şekil 5'deki gibidir.



Şekil 5. Statik Eksenel Yükleme Deneyi Sonucuna Göre Oturma - Yük Grafiği (Can Ve Acar, 2016) (Settlement - Load Graph According To The Static Axial Load Test Result)

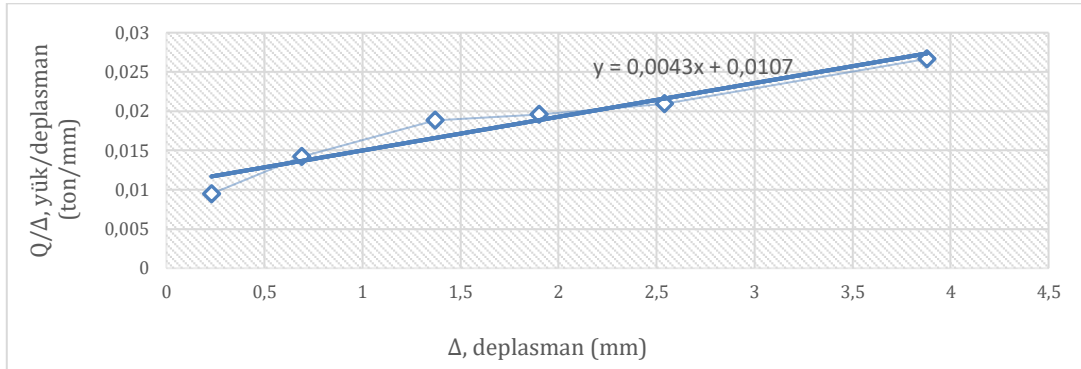
3.2. Yükleme Deney Sonuçlarına Göre Nihai Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi (Determination of Ultimate Bearing Capacity According to Loading Test Results)

Statik eksenel basınç yükleme deneyi sonucu okunan oturma değerleri dikkate alınarak oluşturulan yük-oturma grafiğinden Mazurkiewicz yöntemi ile elde edilen göçme yükü için çizilen grafik Şekil 6'dadır. Şekilde görüldüğü üzere Mazurkiewicz yöntemine göre tekil derin karıştırma kolonu taşıma kapasitesi 244 ton olarak elde edilmiştir.



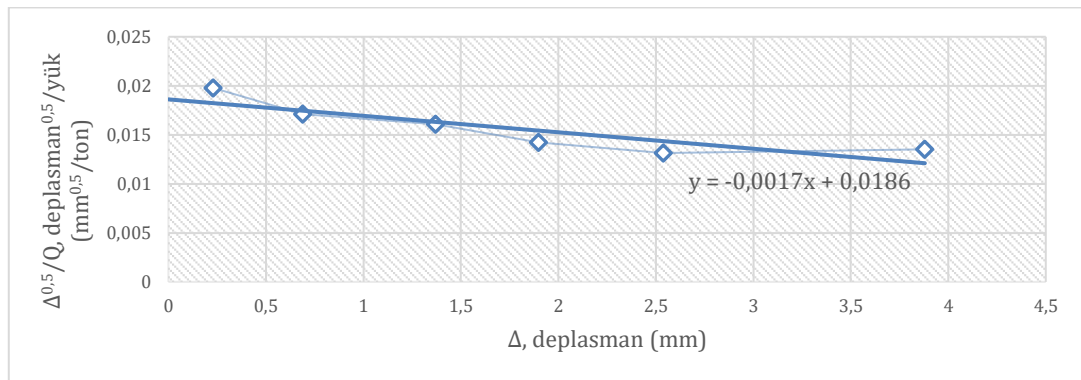
Şekil 6. Mazurkiewicz Yöntemi İle Nihai Taşıma Kapasitesinin Elde Edilmesi (Can Ve Acar, 2016) (Obtaining The Ultimate Bearing Capacity By Mazurkiewicz Method)

Bu çalışma kapsamında; Tablo 5'de verilen yük-deformasyon verileri kullanılarak Chin Kondner, Brinch Hansen %80, Decourt ve Hirany Kulhawy yöntemleri için elde edilen grafikler sırasıyla Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmektedir. Buna göre;



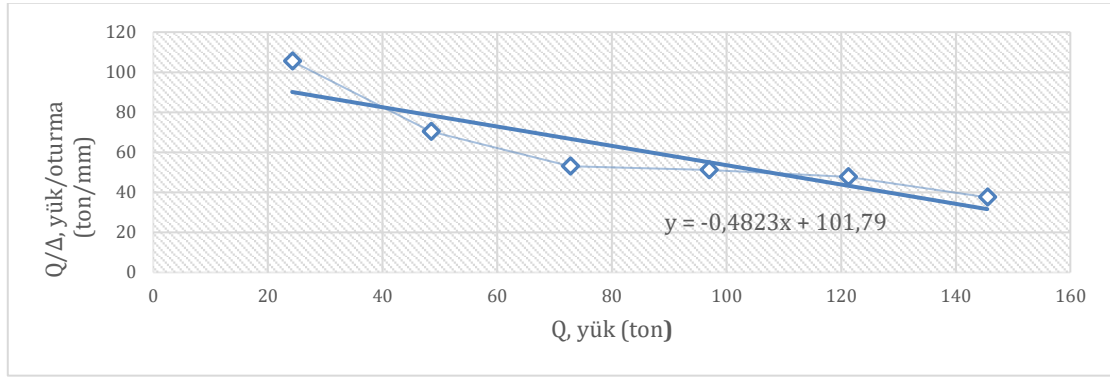
Şekil 7. Chin Kondner Yöntemi İle Nihai Taşıma Kapasitesinin Elde Edilmesi (Obtaining The Ultimate Bearing Capacity By Chin Kondner Method)

Chin Kondner yöntemi için $C_1 = 0,0043$ ve $Q_{ult} = 1/C_1 = 1/0,0043 = 233$ ton olarak elde edilmiştir.



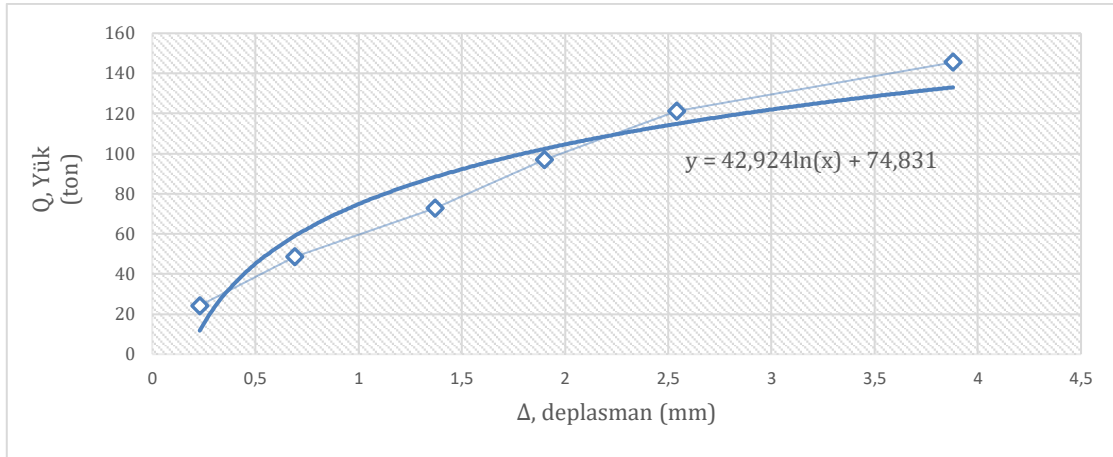
Şekil 8. Brinch - Hansen %80 Yöntemi İle Nihai Taşıma Kapasitesinin Elde Edilmesi (Obtaining The Ultimate Bearing Capacity By Brinch - Hansen %80 Method)

Brinch-Hansen %80 (1963) yöntemi için $C_1 = 0,0017$, $C_2 = 0,0186$ ve $Q_{ult} = 1 / (2 \times \sqrt{0,0017 \times 0,0186}) = 89$ ton olarak elde edilmiştir.



Şekil 9. Decourt Yöntemi ile Nihai Taşıma Kapasitesinin Elde Edilmesi (Obtaining The Ultimate Bearing Capacity By Decourt Method)

Decourt yöntemi için $C_1 = 0,4823$, $C_2 = 101,79$ ve $Q_{ult} = C_2 / C_1 = 101,79 / 0,4823 = 211$ ton olarak elde edilmiştir.

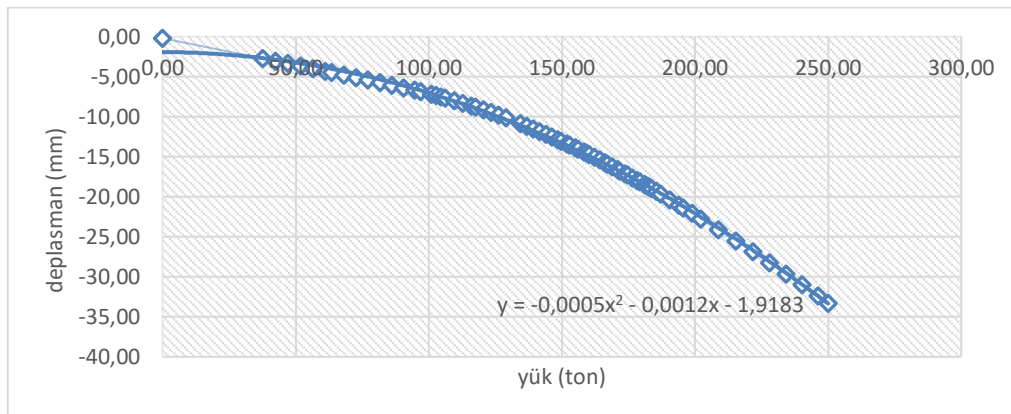


Şekil 10. Hirany Kulhawey Yöntemi ile Nihai Taşıma Kapasitesinin Elde Edilmesi (Obtaining The Ultimate Bearing Capacity By Hirany Kulhawey Method)

Hirany Kulhawey yöntemine göre; kolon çapının %4'ü 32 mm'e tekabül etmektedir. Eğri denkleminde 32 mm'lik deplasman değeri ile 224 ton taşıma kapasitesi elde edilmiştir.

3.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi Analiz Sonuçları (Finite Element Method Analysis Results)

Modellemede yükleme aşamasının tamamlanması sonrasında yük- deplasman grafiği oluşturulmuştur. Derin karıştırma kolonu 250 ton tekil yük altında yenilmeye uğramamış ve Şekil 11'de görüldüğü üzere 33,31 mm deplasman yapmıştır.

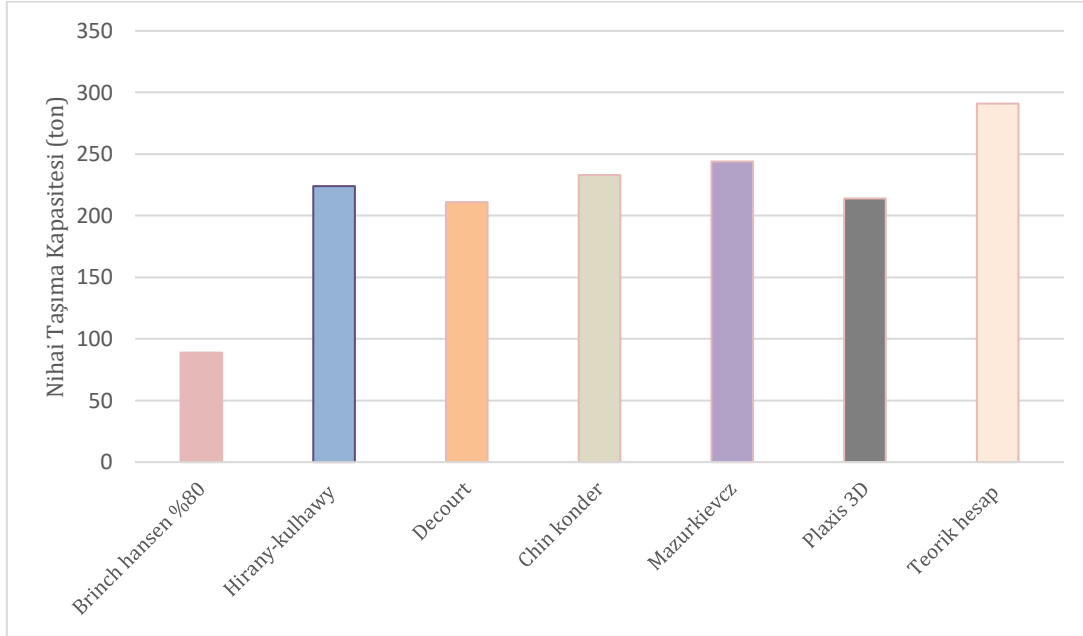


Şekil 11. Derin Zemin Karıştırma Kolonu İçin Yük-Oturma İlişkisi (Load-Settlement Relation For Deep Soil Mixing Column)

Toplam oturma sınırının en fazla 25 mm (Hollanda) olacağı kabul edilerek; 25 mm oturma olduğu andaki yük değeri olan 217 ton göçme yükü olarak bulunmuştur.

3.4. Tekil Derin Zemin Karıştırma Kolonu Ait Nihai Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması (Comparison of Ultimate Bearing Capacities of Single Deep Soil Mixing Column)

Mevcut proje kapsamında teorik olarak hesaplanan taşıma gücü değerinin Brinch Hansen %80, Chin Kondner, Decourt, Mazurkieicz ve Hirany Kulhawy yöntemleri ile elde edilen taşıma kapasiteleri ve Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar yazılımından elde edilen taşıma kapasitesi ile karşılaştırılması Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Nihai Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması (Comparison Of Ultimate Bearing Capacities)

4. Tartışma ve Sonuç (Discussion and Result)

Bu çalışma “Özel Amasya Ataşehir Hastanesi ve Ataşehir Life Konutları Projelendirme İşi” kapsamında imalatı yapılacak olan konut türü yapı için taban zemini ıslahında uygulanmış olan derin zemin karıştırma yöntemi uygulamasını incelenmiştir. Temel zemininde uygulanan derin zemin karıştırma kolonlarının yükleme altındaki performanslarını incelenmesi için sahada gerçekleştirilen statik eksenel yükleme deney veri sonuçları ile literatürde yaygın olarak kullanılan Brinch Hansen, Chin Kondner, Decourt, Mazurkieicz ve Hirany Kulhawy yöntemleri kullanılarak derin karıştırma kolonlarının göçme yükleri (nihai taşıma kapasiteleri) hesaplanmıştır. Ayrıca tekil derin zemin karıştırma kolonu Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar yazılımıyla modellenerek göçme yükü tayini yapılmıştır. Teorik yöntem ile hesaplanan taşıma kapasitesi; yükleme deneyinden elde edilen sonuçlar ve Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar yazılımından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- $\varnothing=80$ cm çapında ve $L=15$ metre uzunluğunda derin karıştırma kolonuna ait eksenel statik yükleme deneyi sonuçlarına 97 ton (tasarım yükü) yükleme sonucunda toplam oturma 1,90 mm olup, kalıcı oturma 0,34 mm olarak belirlenmiştir. Bu durumda oluşan elastik oturma 1,56 mm olarak ölçülmüştür. Proje tasarım yükünün 1,5 katı olan 145,50 ton yük için ise, toplam oturma 3,88 mm olup, kalıcı oturma 0,59 mm olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde elastik deplasman ise 3,29 mm olarak ölçülmüştür.
- Derin karıştırma kolonuna ait eksenel statik yükleme deneyi sonucunda elde edilen veriler ile Brinch Hansen, Chin Kondner, Decourt, Mazurkieicz ve Hirany Kulhawy yöntemleri kullanılarak göçme yükleri (nihai taşıma kapasiteleri) hesaplanmıştır. Nihai taşıma kapasitesi kıyaslaması Şekil 12’de verilmiştir.
- Mazurkiwicz, Decourt, Chin-Konder ve Hirany-Kulhawy yöntemlerine ait sonuçların 210-244 ton aralığında olduğu ve birbirleriyle tutarlı sonuçlar verdiği görülmektedir. Özellikle Mazurkieicz yönteminin, teorik yöntemle hesaplanan nihai taşıma kapasitesine çok yakın olmasından dolayı başarılı bir tahmin ortaya çıktığı anlaşılmıştır.

- Brinch -Hansen %80 yöntemi ile elde edilen taşıma kapasitesi ise diğer yöntemlere göre daha düşüktür. Değerlendirme yapılırken Brinch-Hansen %80 yönteminin daha çok çakma kazıklar için geliştirildiği dikkate alınmalıdır.
- Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar programı ile tekil derin karıştırma kolonuna ait noktasal yükleme sonucunda taşıma kapasitesi ise 217 ton olarak belirlenmiştir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Çalışmamda bahsi geçen projeye ait yükleme test deney raporu, geoteknik değerlendirme raporu ve ihtiyacım olan teknik bilgilere ulaşmamda bana yardımcı olan İnş. Yük. Müh. İlkay TONYALI, ve İksa-Mühendislik Genel Koordinatörü İnşaat Mühendisi Serkan NEMLİ'ye teşekkürlerimi iletirim.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Aydın, M., 2019. Derin Karıştırma Yöntemi ile Zemin İyileştirilmesi Üzerine Bir Vaka Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
- Bahmanpour, A., Towhata, I., Sakr, M., Mahmoud, M., Yamamoto, Y. ve Yamada, S., 2019. The Effect of Underground Columns on The Mitigation of Liquefaction in Shaking Table Model Experiments, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 116, 15-30.
- Birand A., 2007. Kazıklı Temeller, Teknik Yayınevi, 47-157
- Bruce, D., A., 2000. An Introduction to the Deep Soil Mixing Methods as Used in Geotechnical Applications, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 99,138, 6, Georgetown.
- Can, A., Acar, K., 2016. Amasya Ataşehir Hastanesi ve Doktorlar Sitesi İnşaatı ϕ 80 cm WSM (Derin Karıştırma Kolonu) 1 No'lu Yükleme Testi Raporu; İksa Mühendislik, Ankara.
- Coastal Development Institute of Technology, 2002. The Deep Mixing Method – Principle, Design and Construction. A.A.Balkema Publishers.
- Coduto, D. P., 2001. Foundation Design: Principles and Practise, Prentice-Hall Inc.
- Erbeyoğlu, E., 2019. Derin Zemin Karıştırma Yöntemi ile İyileştirme Yapılan Zeminlerde Taşıma Gücü Dağılımının Belirlenmesi, Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
- Kaptan, E. C., Çınar, F. T., Bozbey, İ., 2021. Derin Karıştırma Yöntemi (dsm) ile İyileştirilen Zeminlerde Elastisite Modülü ve Serbest Basınç Mukavemeti Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi* 29: 286-296.
- Kitazume, M., Terashi, M., 2013. The Deep Mixing Method. Netherlands: CRC Press.
- Özaydın, K., 2012. Zeminlerin İyileştirilmesi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 14. Ulusal Kongresi, 4-5 Ekim 2012, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Plaxis 3D Foundation (2019). Reference Manual, 1-2.
- Sağlam. A., 2017. Amasya Merkez Ataşehir Hastanesi ve Doktorlar Sitesi Zemin ve Temel Mühendisliği Değerlendirme Raporu; Denge Mühendislik, Amasya.



ENTEĞRE BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE KİMYASAL AZALTIMI VE KİMYASAL DEĞİŞİMİ UYGULAMASI

Emrah ÖZTÜRK*

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Aksu Mehmet Süreyya Demiraslan Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Kimyasal Envanteri,
Kimyasal Değişimi,
Kimyasal Azaltımı,
Tekstil,
Temiz Üretim.*

Öz

Bu çalışmada ağırlıklı olarak pamuklu dokuma ve örgü kumaş üretimi yapan entegre bir tekstil işletmesinde kimyasal tüketimlerinin azaltılması ve çevresel açıdan riskli kimyasalların çevre dostu ikameleriyle değişimi amaçlanmıştır. Tesiste yerinde detaylı incelemeler ve veri toplama çalışmaları yapılmıştır. Prosesler bazında spesifik boyarmadde ve spesifik yardımcı kimyasal tüketimleri hesaplanmıştır. Tesisin spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimleri literatürde ve Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol (IPPC) Tekstil Sektörü için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında (BREF) yer alan benzer tesis verileriyle kıyaslanmıştır. Böylelikle tesisin boyarmadde ve kimyasal kullanımı açısından azaltım potansiyelleri değerlendirilmiştir. Ayrıca tesiste toplam 450 kimyasalın malzeme güvenlik bilgi formları (MGBF) biyodegradasyon oranları, toksik özellikleri ve mikrokirletici içerikleri açısından incelenmiştir. Buna göre 48 kimyasalın çevresel açıdan riskli olduğu belirlenmiş ve çevre dostu ikameleriyle değişimleri önerilmiştir. Tesiste yürütülen saha çalışmaları ve veri analizi çalışmaları sonucunda elde edilen bilgilerden yararlanılarak tesis yönetimi ve teknik personeliyle birlikte 10 adet kimyasal azaltım tekniğinin uygulanmasına karar verilmiştir. Belirlenen her bir teknik için azaltım oranları, yatırım maliyetleri ve geri ödeme süreleri belirlenmiştir. Tesiste belirlenen tekniklerin tümünün uygulanmasıyla boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinde %14,9-27,3 arasında azaltım sağlanabileceği bulunmuştur. Uygulamaların geri ödeme süresinin 41 aydan daha kısa olacağı hesaplanmıştır.

IMPLEMENTATION OF CHEMICAL REDUCTION AND CHEMICAL SUBSTITUTION IN AN INTEGRATED TEXTILE FACILITY

Keywords

*Chemical Inventory,
Chemical Substitution,
Chemical Reduction,
Textile,
Cleaner Production.*

Abstract

In this study, it was aimed to reduce chemical consumption and replace environmentally risky chemicals with environmentally friendly substitutes in an integrated textile facility that mainly produces cotton woven and knitted fabrics. Detailed on-site investigations and data collection studies were carried out in the facility. Specific dyestuff and specific auxiliary chemical consumptions were calculated on the basis of processes. Specific dyestuff and auxiliary chemical consumptions of the facility were compared with similar textile facilities in the literature and Best Available Techniques Reference Document for the Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Textile Industry (BREF). Thus, the reduction potentials of the facility in terms of dyestuff and chemical consumptions were evaluated. In addition, material safety data sheets (MSDS) of a total of 450 chemicals were examined in terms of biodegradation ratios, toxic properties and micropollutant contents. Accordingly, 48 chemicals were determined to be environmentally risky and their replacement with environmentally friendly substitutes was suggested. It was decided to implement 10 chemical reduction techniques together with the facility management and technical personnel, using the information obtained from field and data analysis studies carried out in the facility.

* İlgili yazar / Corresponding author: emrahozturk@isparta.edu.tr , +90-246-341-2363

For each determined technique, reduction ratios, investment costs and payback periods were calculated. It was found that with the application of all the techniques determined in the facility, a reduction of 14.9-27.3% could be achieved in the consumption of dyestuffs and auxiliary chemicals. Payback period of the practices could be less than 41 months.

Alıntı / Cite

Öztürk, E., (2023). Entegre Bir Tekstil İşletmesinde Kimyasal Azaltımı ve Kimyasal Değişimi Uygulaması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 198-211.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Öztürk, 0000-0001-6421-6474

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	25.07.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	05.09.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	10.09.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

IMPLEMENTATION OF CHEMICAL REDUCTION AND CHEMICAL SUBSTITUTION IN AN INTEGRATED TEXTILE FACILITY

Emrah ÖZTÜRK*

Department of Environmental Protection Technologies, Aksu Mehmet Sureyya Demiraslan Vocational School, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Turkey

Highlights

- A chemical minimization and substitution study was carried out in a textile mill.
- A chemical inventory study was examined for 450 dyestuff and auxiliary chemicals.
- Chemical replacement was suggested for 48 chemicals.
- 10 minimization techniques were determined to reduce chemical consumption.
- A reduction of 14.9-27.3% could be achieved in the consumption of dyestuffs and auxiliary chemicals.
- A 14.9-27.3% reduction in the chemical consumption can be achieved by the determined techniques.

Purpose and Scope

The main purpose of this study is to reduce chemical consumption and replace environmentally risky chemicals with environmentally friendly substitutes in an integrated textile facility that mainly produces cotton woven and knitted fabrics.

Design/methodology/approach

Detailed on-site investigations and process based data collection studies were carried out in the studied textile facility. Specific dyestuff and auxiliary chemical consumptions were calculated basis on the production processes. Calculated specific consumptions were compared with similar textile mills data in the literature and IPPC Textile BREF document. Thus chemical reduction potentials were calculated. In addition, material safety data sheets (MSDS) of 450 chemicals were examined in terms of biodegradation ratios, toxic properties and micropollutant contents. Toxic and environmentally hazardous chemicals were identified. In addition, techniques were determined to reduce chemical consumption. The reductions and payback periods to be achieved by the application of these techniques were calculated.

Findings

It was proposed to replace the 48 chemicals used in the facility with environmentally friendly substitutes. It was decided to implement 10 chemical reduction techniques in the facility. It was found that a reduction of 14.9-27.3% could be achieved in the consumption of dyestuffs and auxiliary chemicals. Payback period of the practices could be less than 41 months.

Originality

In this study, it is aimed to both reduce chemical consumption and replace environmentally risky (toxic and low biodegradation) chemicals with environmentally friendly substitutes with chemical reduction techniques in an integrated textile facility that makes cotton weaving and knitted fabric finishing, dyeing and printing. According to the results of the literature research, this study is the first and original study on chemical reduction and chemical substitution, especially in a textile facility that woven-knitted fabrics dyeing and printing on a large

* Corresponding author: emrahozturk@isparta.edu.tr, +90-246-341-2363

scale. The methodology applied in this study and the findings obtained can provide a roadmap for similar textile facilities to evaluate their own chemical use performance.

1. Giriş (Introduction)

Tekstil endüstrisi imalat sanayisinin en eski sektörlerden biridir. Tekstil endüstrisi karmaşık üretim proseslerinden ve çok sayıda alt sektörden oluşan heterojen bir sektördür. Tekstil üretim proseslerinin en önemli proses girdilerinden birini kimyasallar (boyarmadde ve yardımcı kimyasallar) oluşturmaktadır (Yukseler vd., 2017; Mor vd., 2018). Tekstil terbiye ve boyamasında yoğun olarak kullanılan kimyasallar; asitler, bazlar, yüzey aktif maddeler, enzimler, stabilizatörler, dispersiyon ajanları, geciktiriciler, tuzlar, solventler, emülgatörler, fiksaj kimyasalları, kompleks yapıcı ajanlar ve çeşitli boyarmaddeler olarak sınıflandırılabilir (Marechal vd., 2012). Tekstil tesislerinde üretim prosesleri haricindeki yardımcı proseslerde de kimyasal kullanımları söz konusu olmaktadır. Su yumuşatma ünitelerinde katyonik iyon değiştiricilerin rejenerasyonunda yüksek miktarda tuz tüketilmektedir. Buhar kazanlarında kazan taşı oluşumunu ve buhar hatlarında kışır oluşumunu engellemek üzere kireç ve korozyon önleyiciler kullanılmaktadır. Makine bakım atölyeleri, tesis ve ekipman temizliği ve idari binaların temizliği (yemekhane, duş vb. dahil) kimyasal tüketimleri gerçekleştirilmektedir. Tekstil üretim proseslerinde kimyasal tüketimi; üretim yapısına, uygulanan tekniklere, kullanılan teknoloji seviyesine ve lif türüne bağlı olarak değişmektedir. Tekstil üretiminde 8000'den fazla çeşitte kimyasal kullanılmaktadır (Kumar ve Saravanan, 2017). Ayrıca tekstil üretiminde lif ağırlığının %10-100 arasında kimyasal tüketimi gerçekleştirilmektedir (Ozturk vd., 2009). Pamuklu iplik terbiye-boyamasında spesifik boyarmadde tüketimi 25 g/kg ürün, spesifik tekstil yardımcı kimyasal tüketimi 70 g/kg ürün ve temel kimyasal tüketimi 400 g/kg ürün olmaktadır (EC, 2003). Polyester iplik terbiye-boyamasında spesifik boyarmadde, spesifik tekstil yardımcı kimyasal ve spesifik temel kimyasal tüketimleri sırasıyla 18-36 g/kg ürün, 80-130 g/kg ürün ve 95-125 g/kg ürün aralığında değişmektedir. Pamuklu örgü kumaş terbiye-boyamasında spesifik boyarmadde tüketimi 18 g/kg ürün, spesifik tekstil yardımcı kimyasal tüketimi 100 g/kg ürün ve spesifik temel kimyasal tüketimi 570 g/kg ürün'dür (EC, 2003). Sentetik örme kumaş terbiye-boyamasında spesifik boyarmadde, spesifik tekstil yardımcı kimyasal ve spesifik temel kimyasal tüketimleri sırasıyla 15-50 g/kg ürün, 45-150 g/kg ürün ve 50-280 g/kg ürün aralığında değişmektedir (EC, 2003). Pamuklu dokuma kumaş terbiye-boyamasında spesifik boyarmadde tüketimi 10-20 g/kg ürün, spesifik tekstil yardımcı kimyasal tüketimi 180-200 g/kg ürün ve spesifik temel kimyasal tüketimi 200-250 kg/ürün arasında değişmektedir (EC, 2003). Ağırlıklı olarak pamuklu kumaş terbiyesi-boyaması yapan ve büyük kumaş baskı dairesine sahip tekstil işletmelerinde spesifik boyarmadde tüketimi 80-100 g/kg ürün, spesifik tekstil yardımcı kimyasal tüketimi 180-200 g/kg ürün ve spesifik temel kimyasal tüketimi 800-850 g/kg ürün aralığında değişmektedir (EC, 2003). Yünlü kumaş terbiyesi-boyaması yapan tekstil işletmelerinde spesifik boyarmadde, spesifik tekstil yardımcı kimyasal ve spesifik temel kimyasal tüketimleri sırasıyla 10-30 g/kg ürün, 140-160 g/kg ürün ve 85-95 g/kg ürün arasında değişmektedir (EC, 2003; Ozturk vd., 2020). Tekstil üretim terbiye-boyama proseslerinde kullanılan kimyasalların tamamı tekstil lifleri üzerinde kalmamakta ve kullanılan kimyasalların %35-50'si atıksu akımlarıyla uzaklaştırılmaktadır (Ogugbue ve Sawidis, 2011; Thiry, 2011; Desore ve Narula, 2018; Ozturk vd., 2020). Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (IPPC) Tekstil Sektörü için Mevcut En İyi Teknikler (MET) Referans Dokümanı'nda (BREF) konvansiyonel baskı patı sevk sistemlerinde, kayıp miktarlarının aplike edilen her renk için raklelerden, şablonlardan ve boru-pompalardan 6,5-8,5 kg baskı patının kaybedildiği rapor edilmiştir (EC, 2003). Bu yüzden tekstil atıksularının taşıdıkları kimyasal yükler yüksek olmaktadır (Tanapongpipat vd., 2008; Arivithamani vd., 2014). Yüksek kimyasal yük içeren tekstil atıksularının arıtılması, yüksek miktarda toksik, biyolojik olarak parçalanamayan organik bileşikler, tuzlar ve ağır metaller nedeniyle çok zor olmaktadır (Archna ve Siva, 2012; Carmen ve Daniela, 2012). Tekstil atıksuları, uygun arıtma yapılmadan alıcı su kütlelerine deşarj edilirse geri dönüşü olmayan çevresel sorunlara neden olabilir (Yaseen ve Scholz, 2018). Bu nedenle çevre ve insan sağlığı açısından riskli kimyasalların değişimi ve kimyasal tüketimlerinin azaltımı tekstil işletmeleri için oldukça önemli olmaktadır.

Bir tekstil işletmesinde hammaddeden sonra en önemli maliyet kalemini kimyasal maliyetleri oluşturmaktadır (Mia vd., 2016). Bu nedenle bir tekstil işletmesinde kimyasal tüketiminin ve maliyetlerinin azaltılması piyasa rekabet gücünün artırılması açısından çok önemlidir (Radej ve Zakotnik, 2003). Tekstil üretim proseslerinde çeşitli önleyici ve azaltım teknikleri uygulanarak kimyasal tüketimi ve maliyeti azaltılabilir (Ozturk vd., 2016; Ozturk vd., 2020). Ayrıca, tekstil işletmelerinde kimyasal azaltımı ve kimyasal değişimi uygulamaları yapılarak üretim verimliliğinin artırılmasına, mevcut ve gelecekteki tekstil standartlarını karşılanmasına, çevresel etkilerin azaltılmasına, çalışanların ve son kullanıcıların sağlığının korunmasına da önemli katkılar sağlanabilir (Ozturk vd., 2020).

Bu çalışmada pamuklu dokuma ve örgü kumaş terbiye, boyama ve baskısı yapan entegre bir tekstil işletmesinde kimyasal azaltım teknikleriyle hem kimyasal tüketimlerinin azaltılması hem de çevresel açıdan riskli (toksik ve biyodegradasyonu düşük olan) kimyasalların çevre dostu ikameleriyle değişimlerinin yapılması amaçlanmıştır.

Literatür araştırması sonuçlarına göre bu çalışma özellikle büyük ölçekte dokuma-örgü kumaş baskı boyaması yapan bir tekstil işletmesinde kimyasal azaltımına ve kimyasal değişimine yönelik ilk ve orijinal bir çalışmadır. Bu çalışma kapsamında yerinde prosesler bazında kimyasal tüketimine yönelik detaylı incelemeler ve veri toplama çalışmaları yapılmıştır. Prosesler bazında spesifik boyarmadde ve kimyasal tüketimleri hesaplanmıştır. Tesisin spesifik boyarmadde ve kimyasal tüketimleri literatürde ve IPPC Tekstil BREF dokümanında yer alan benzer tesis verileriyle kıyaslanarak potansiyel tasarruf oranları hesaplanmıştır. Ayrıca tesiste kullanılan tüm kimyasallar için bir kimyasal envanter çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda çevresel açıdan riskli kimyasallar belirlenmiş ve çevre dostu ikameleriyle değişimi önerilmiştir. Bununla birlikte elde edilen veriler doğrultusunda tesis yönetimi, mühendisler, uzmanlar/danışmanlar ve operatörlerle birlikte tesiste kimyasal tüketiminin azaltılması için kimyasal azaltım tekniklerine karar verilmiştir. Belirlenen kimyasal azaltım teknikleri için teknik, ekonomik ve çevresel açılardan fizibilite çalışması yapılmıştır. Buna göre belirlenen her bir teknik için kimyasal azaltım oranı, yatırım maliyetleri ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada uygulanan metodoloji ve elde edilen bulgular benzer tekstil tesislerinin kendi kimyasal kullanım performanslarını değerlendirmesi açısından bir yol haritası sağlayabilir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışma, yıllık 94 milyon metre üretim kapasitesiyle Avrupa'nın en büyük ev tekstili üreticisi olan entegre bir tekstil işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Tesiste pamuklu dokuma kumaş ve örgü kumaş terbiye ve boyaması olmak üzere iki temel üretim hattı bulunmaktadır. Dokuma kumaş üretim hattında pamuklu dokuma kumaşların ön terbiyesi, boyaması (pad-batch), baskısı (şablon baskı, rotasyon baskı ve dijital baskı) ve apresi yapılmaktadır. Örgü kumaş üretim hattında ise ön terbiye, boyama (HT boyama makinelerinde) ve apre işlemleri yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, kimyasal tüketimi gerçekleşen temel ve yardımcı proseslerde yerinde detaylı incelemeler yapılmış ve veri toplama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Veri toplama çalışmalarında tesisin mevcut kimyasal tüketimine ve satın alınmasına dair kayıtlardan yararlanılmıştır. Tesiste yürütülen saha çalışmalarında kimyasal tüketimleri 2018-2020 yılları aralığına ait verilerden toplanmıştır. Bu kapsamda tesisin üretim ve yardımcı prosesleri bazında yıllık boyarmadde tüketimi, yıllık yardımcı kimyasal tüketimi ve yıllık üretim miktarı değerleri toplanmıştır. Elde edilen verilerden ve Eşitlik 1'den yararlanılarak tesis geneli ve prosesler bazında spesifik boyarmadde ve spesifik yardımcı kimyasal tüketimleri hesaplanmıştır. İşletmenin spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimleri literatürde ve IPPC Tekstil BREF dokümanında sunulan benzer tesis verileriyle kıyaslanmıştır. Buna göre tesisin boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinde sağlanması mümkün olan potansiyel tasarruf oranları hesaplanmıştır.

$$\text{Spesifik kimyasal tüketimi (g/kg ürün)} = \frac{\text{Yıllık kimyasal tüketimi (kg/yıl)} \times 10^3}{\text{Yıllık üretim miktarı (kg ürün/yıl)}} \quad (1)$$

Tesiste kullanılan kimyasalların tümü için bir envanter çalışması yapılmış ve kullanılan tüm kimyasalların malzeme güvenlik bilgi formları (MGBF) toplanmıştır. MGBF yararlanılarak tüm kimyasalların kimyasal içerikleri, biyodegradasyon/biyoeliminasyon özellikleri, ölümcül doz (LD₅₀) (dermal), LD₅₀ (oral), ölümcül konsantrasyon (LC₅₀) (balık), LC₅₀ (alg) ve etkili konsantrasyon (EC₅₀) (Daphnia) değerleri listelenmiştir. Kimyasalların biyodegradasyon oranını belirlemek için MGBF'lerinde yer alan Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD) 301A ve 302B (Zahn-Wellens) test değerleri kullanılmıştır. Kimyasal envanter çalışması kapsamında listelenen tüm kimyasallar Tablo 1'de sunulan sucül toksisite sınıflandırmasına göre incelenmiş ve sınıflandırılmıştır. Ayrıca IPPC Tekstil BREF Dokümanı'nda biyodegradasyon oranları %70'in altında olan kimyasalların biyodegradasyonu daha yüksek olanlarla değiştirilebileceği tavsiye edilmektedir (EC, 2003). Kimyasal envanter ve kimyasal değişimi çalışmaları bu bilgilere göre yapılmıştır. Bununla birlikte tüm kimyasallar mikrokirletici içerikleri açısından analiz edilmiştir. Bu kapsamda Avrupa Komisyonu Su Çerçeve Direktifi'nde (2000/60/EC) (EC, 2000) ve Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği'nde (YSKYY, 2015) sunulan mikrokirletici listeleri kullanılmıştır. Kimyasal envanter çalışması kapsamında biyodegradasyon oranı <%70, sucül ortam açısından toksik özelliklere sahip ve mikrokirletici içeren kimyasal çevresel açıdan riskli olarak belirlenmiş ve çevre dostu ikameleriyle değişimleri önerilmiştir.

Tablo 1. Sucül Toksikite Sınıflandırması (EC, 2003) (Aquatic Toxicity Classification)

Tosisite seviyesi	LC ₅₀ /EC ₅₀ Konsantrasyonu (mg/L)
Yüksek derecede toksik	<0,1
Çok toksik	0,1-1
Toksik	1-10
Orta derecede toksik	10-100
Düşük derecede toksik	>100

Tesiste prosesler bazında kimyasal tüketimi analiz çalışmalarından elde edilen bulgulardan ve saha çalışmaları kapsamındaki gözlemlerden yararlanılarak kimyasal tüketiminin azaltılmasına yönelik teknikler listelenmiştir. Bu teknikler tesis yönetimi, mühendisler, uzmanlar/danışmanlar ve operatörlerle birlikte değerlendirilmiştir. Buna

göre tesiste uygulanacak nihai kimyasal azaltım tekniklerine karar verilmiştir. Belirlenen tekniklerin her biri teknik uygulanabilirlik, ekonomiklik ve çevresel açıdan değerlendirilmiştir. Tesiste belirlenen tekniklerin uygulanmasıyla kimyasal tüketiminde sağlanabilececek potansiyel azalmalar hesaplanmıştır. Bununla birlikte her bir uygulama için tesis yönetimi tarafından tedarikçi firmalardan fiyat teklifleri alınmış ve yatırım maliyetleri belirlenmiştir. Bu verilerden ve Eşitlik 2'den yararlanılarak belirlenen her bir kimyasal azaltım tekniği için tahmini geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

$$\text{Geri ödeme süresi (ay)} = \frac{\text{İlk yatırım maliyeti (TL)}}{\text{Kimyasal tasarrufu} \left(\frac{\text{TL}}{\text{yıl}} \right)} \times 12 \text{ (ay/yıl)} \quad (2)$$

3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

3.1. Prosesler Bazında Boyarmadde ve Kimyasal Tüketimleri (Dyestuff and Chemical Consumption on the Basis of Processes)

Tesiste yerinde yürütülen veri toplama ve saha çalışmaları kapsamında üretim prosesleri bazında kimyasal tüketimleri belirlenmiştir. Tesiste toplam ortalama 338 ton/yıl boyarmadde ve 10.990 ton/yıl yardımcı kimyasal tüketimi gerçekleşmektedir. Tesiste dokuma kumaş boyama ve baskı proseslerinde toplam boyarmadde tüketiminin %77,4'ü gerçekleştirilmiştir. Örgü kumaş boyama prosesinde ise toplam boyarmadde tüketiminde %22,6 paya sahiptir. Dokuma kumaş boyamada, şablon-rotasyon baskı ve dijital baskı proseslerinde toplam boyarmaddenin sırasıyla %55,8, %20,9 ve %0,7'si tüketilmektedir. Dokuma kumaş boyamasında emdirme yöntemine göre düz reaktif boyama yapılmaktadır. Dokuma kumaş boyama prosesinde boyarmadde tüketiminin yüksek olması boyarmadde tüketiminde bir verimsizliğe işaret etmektedir. Şablon ve rotasyon baskı makinelerinde ise toplam boyarmadde miktarlarına erişilebilmiştir. Tesiste şablon ve rotasyon baskı prosesleri için boyarmadde tüketimleri ayrı ayrı tutulmaktadır. Dolayısıyla bu durum prosesler bazında veri tutma konusunda bir eksiklik olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu durum şablon ve rotasyon baskı makinelerinde boyarmadde tüketimleri açısından bir performans değerlendirmesi yapılmasını olumsuz etkilemektedir. Tesiste dokuma kumaş ve örgü kumaş üretim prosesleri toplam kimyasal tüketiminde sırasıyla %82,7 ve %13,1 paylara sahiptir. Su yumuşatma sisteminde ise katyonik iyon değiştirici reçinelerin rejenerasyonunda ise 466 ton/yıl tuz tüketimi gerçekleşmektedir. Bu değer toplam kimyasal tüketiminin %4,2'sini oluşturmaktadır. Dokuma kumaş ön terbiye prosesleri toplam kimyasal tüketiminin %25,7'sinden sorumludur. Dokuma kumaş boyama ve baskı prosesleri toplam kimyasal tüketiminin sırasıyla %28,1 ve %25,5'ini oluşturmaktadır. Dokuma kumaş son terbiye prosesleri ise toplam kimyasal tüketiminde %3,4 paya sahiptir. Örgü kumaş ön terbiye, boyama (çektirme tekniğine göre boyama), ve apre prosesleri toplam kimyasal tüketiminin sırasıyla %1,2, %10,5 ve %1,4'ünü oluşturmaktadır.

Tesisin ortalama üretim miktarı 18.200 ton/yıl'dır. Toplam üretimin %7'sini örgü kumaş ve %93'ünü dokuma kumaş üretimi oluşturmaktadır. Yıllık ortalama boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimi verileri ve yıllık ortalama üretim verileri kullanılarak prosesler bazında spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimleri hesaplanmıştır (Tablo 2). Tesiste spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimleri sırasıyla 19±4 ve 604±9 g/kg ürün bulunmuştur. Dokuma kumaş yakma-haşıl sökme, kasar ve merserizasyon proseslerinde spesifik yardımcı kimyasal tüketimleri sırasıyla 8±0,3, 55±1, 855±175 g/kg ürün'dür. Dokuma kumaş boyama ve baskı proseslerinde spesifik yardımcı kimyasal tüketimleri sırasıyla 1.313±134 ve 234±7 g/kg ürün bulunmuştur. Dokuma kumaş boyama, şablon-rotasyon baskı ve dijital baskı proseslerinde spesifik boyarmadde tüketimleri sırasıyla 81±23, 6±1, 4±3 g/kg ürün'dür. Dokuma kumaş son terbiyesinde yıkama prosesinde spesifik yardımcı kimyasal tüketimi 14±1 g/kg ürün ve apre prosesinde yardımcı kimyasal tüketimi 15±1 g/kg ürün bulunmuştur. Örgü kumaş boyamasında spesifik boyarmadde tüketimi 69±32 g/kg ürün'dür. Örgü kumaş ön terbiye, boyama ve apre proseslerinde spesifik yardımcı kimyasal tüketimleri sırasıyla 111±33, 1.007±300 ve 385±114 g/kg ürün bulunmuştur.

Tesiste dokuma kumaş merserizasyon prosesinde, boyama prosesinde ve örgü kumaş boyama proseslerinde spesifik yardımcı kimyasal tüketimlerinin yüksek olduğu bulunmuştur. Merserizasyon prosesinde yüksek miktarda kostik kullanılmaktadır. Tesiste merserizasyon atıksularından kostiğin bir kısmı çok etkili evaporatörler yardımıyla geri kazanılmaktadır. Ancak elde edilen verilere göre kostik geri kazanım sisteminin optimize edilmesi ve daha fazla kostik geri kazanımı sağlanmalıdır. Dokuma kumaş ve örgü kumaş boyama prosesinde kimyasal optimizasyonu çalışmalarına ihtiyaç vardır. Bu proseslerde spesifik boyarmadde tüketimleri IPPC Tekstil BREF dokümanında ve literatürdeki benzer tesis verileriyle kıyaslandığında 4-8 kat daha fazla bir boyarmadde tüketimi olduğu sonucuna varılmıştır (EC, 2003). Bu proseslerde boyarmadde tüketiminin yüksek olmasının başlıca nedenleri arasında boyama fularında kalan boyaların geri kazanılmaması, boya hazırlamada otomatik dozlama sistemlerinin kullanılmıyor olması ve reçete optimizasyonu çalışmalarının yapılmamasıdır.

Tablo 2. Prosesler Bazında Spesifik Boyarmadde Ve Yardımcı Kimyasal Tüketimleri (Specific Dyestuff And Auxiliary Chemical Consumptions On The Basis Of Processes)

Prosesler	Ortalama tüketim miktarları (ton/yıl)		Ortalama dağılım (%)		Ortalama spesifik tüketim miktarları (g/kg ürün)	
	Boyarmadde	Yardımcı kimyasal	Boyarmadde	Yardımcı kimyasal	Boyarmadde	Yardımcı kimyasal
Dokuma kumaş						
Ön terbiye						
Yakma ve haşıl sökme		113		1		8±0,3
Kasar		928		8,4		55±1
Merserizasyon		1.791		16,3		855±175
Boyama ve baskı						
Boyama (pad-batch)	188	3.091	55,8	28,1	81±23	1.313±134
Şablon ve rotasyon baskı	71	2.802	20,9	25,5	6±1	234±7
Dijital baskı	3		0,7		4±3	
Son terbiye						
Yıkama		123		1,1		14±1
Apré		248		2,3		15±1
Örgü kumaş						
Ön terbiye		127		1,2		111±33
Boyama (HT)	76	1.153	22,6	10,5	69±32	1.007±300
Apré		149		1,4		385±114
Diğer						
Su yumuşatma (rejenerasyon)		466		4,2		
Toplam	338	10.990	100	100	19±4	604±9

Dokuma kumaş boyama prosesinde spesifik boyarmadde tüketiminin yüksek olmasında ve tesis yönetimi tarafından bir önlem alınmamış olması proses bazlı boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinin izlenmesinde, raporlanması ve değerlendirilmesinde eksiklikler olduğuna da işaret etmektedir. Benzer problemlerin örgü kumaş boyama prosesinde de olduğu sonucuna varılmıştır. Tesiste su yumuşatma sisteminde yerinde yapılan incelemelerde tuz tüketiminin azaltılabileceği bulunmuştur. Su yumuşatma sisteminde rejenerasyon sıklıkları ve sürelerinin daha önceden optimize edilmemiştir. Su yumuşatma sisteminin optimize edilmesiyle rejenerasyon atıksuyu ve tuz tüketimlerinde önemli miktarlarda azalmalar sağlanabileceği bulunmuştur.

3.2. Kimyasal Envanteri ve Kimyasal Değişimi (Chemical Inventory and Chemical Substitution)

Tesiste detaylı bir kimyasal envanter çalışması yürütülmüştür. Tesiste toplam 450 farklı kimyasal kullanılmaktadır. Bu kimyasalların %35'ini baskı kimyasalları, %2'sini dokuma kimyasalları, %9'unu boyama kimyasalları, %9'unu yemekhane ve diğer alanlarda kullanılan temizlik kimyasalları, %28'ini makine bakım kimyasalları, %7'sini apré kimyasalları, %6'sını örgü kimyasalları ve %4'ünü ortak kimyasallar oluşturmaktadır. Toplam 450 kimyasalın MGBF incelenmiştir. Bu kapsamda kimyasalların kimyasal içerikleri, biyodegradasyon oranları, LD₅₀ (dermal), LD₅₀ (oral), LC₅₀ (balık), LC₅₀ (alg) ve EC₅₀ (Daphnia) değerleri listelenmiştir. Biyodegradasyon oranı düşük (<%70), mikrokirletici içeren ve toksik karakterdeki (Tablo 1'e göre toksik, çok toksik ve yüksek derecede toksik olan) kimyasallar çevre ve insan sağlığı açısından riskli kimyasallar olarak değerlendirilmiştir. Tesiste kullanılan toplam 450 kimyasaldan 9'unun çok toksik ve 19'unun toksik karakterde olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte 13 kimyasalın düşük biyodegradasyon özelliklerine sahip olduğu bulunmuştur. Toplam 450 kimyasalın kimyasal içerikleri incelendiğinde 7 kimyasalın mikrokirletici içerdiği tespit edilmiştir. Buna göre toplamda 48 kimyasal çevresel açıdan riskli bulunmuştur (Tablo 3). Tablo 3'de sunulan 1-9 arasındaki kimyasallar çok toksik karakterde, 10-28 arasındaki kimyasallar toksik karakterde, 29-41 arasındaki kimyasal düşük biyodegradasyon özelliklerine sahip ve 42-48 arasındaki kimyasallar mikrokirletici içermektedir. Ayrıca kimyasal 10 ve 22 hem mikrokirletici içermekte hem de toksik karakterdedir. Kimyasal 1 hem çok toksik karakterde hem de düşük biyodegradasyon özelliklerine sahiptir. Bununla birlikte kimyasal 12, 26 ve 27 hem toksik karakterde hem de düşük biyodegradasyon özelliklerine sahiptir. Kimyasal 44 ise hem düşük biyodegradasyon özelliklerine sahiptir hem de mikrokirletici içermektedir. Kimyasal envanter çalışması kapsamında belirlenen 48 kimyasalın çevre dostu ikameleriyle (mikrokirletici içermeyen, biyodegradasyon oranı >%70 olan, LD₅₀ >2000 mg/kg ve LC₅₀ >100 mg/L) değişimi önerilmiştir.

Tesiste Oeokotex 100 standardı bulunmaktadır. Bu standart, tekstil ürünlerinin zararlı kimyasallardan arındırıldığını ve insan kullanımı için güvenli olduğunu belirtir. Bu nedenle tesiste zararlı ve yasaklı kimyasallar zaten kullanılmamaktadır. Bu uygulamaların kalıcı olması için kimyasal tedarik prosedürü oluşturulmasına karar verilmiştir. Bu, satın alma birimi tarafından basit bir yazılım kullanılarak gerçekleştirilebilir. Böylece çevre ve insan sağlığı açısından risk oluşturan kimyasalların satın alınmasının önüne geçilebilir ve uygulamanın sürdürülebilirliği sağlanabilir.

Tablo 3. Çevre Dostu İkameleriyle Değişimi Önerilen Kimyasallar (Chemicals Recommended For Replacement With Environmentally Friendly Substitutes)

Kimyasal No	CAS No ^a	Biyodegradasyon özelliği/oram (%)	Toksik özellikler				
			LD ₅₀ (Oral)	LD ₅₀ (Dermal)	LC ₅₀ (Balık)	LC ₅₀ (Alg)	EC ₅₀ (Daphnia)
			(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1	7681-52-9	Biyolojik olarak parçalanmaz.	>2000	- ^b	0,1-1	0,1-1	1-10
2	68037-01-4 132983-41-6 115-86-6	Belirlenmemiştir.	-	-	>100	-	0,1-1
3	-	-	<2000	<2000	0,1-1	0,1-1	1-10
4	7790-28-5 7664-93-9	-	-	-	0,1-1	1-10	0,1-1
5	1336-21-6	-	<2000	-	0,1-1	-	1-10
6	56073-07-5 3734-33-6	-	-	-	0,1-1	-	-
7	9012-54-8	-	>2000	-	10-100	0,1-1	-
8	67-63-0 124-38-9 64742-49-0	-	>2000	>2000	10-100	1-10	0,1-1
9	68955-53-3	-	<2000	<2000	1-10	0,1-1	1-10
10	79-01-6 64742-88-7	-	>2000	>2000	1-10	-	1-10
11	68037-01-4 13298-41-6 115-86-6	Belirlenmemiştir.	-	-	>100	-	-
12	64742-47-8	Biyolojik olarak parçalanmaz.	>2000	>2000	1-10	-	-
13	80-56-8	>90	>2000	>2000	-	-	1-10
14	64742-88-7	-	>2000	>2000	1-10	-	1-10
15	112-34-5-2 160875-66-1	<90	>2000	-	1-10	-	-
16	7722-84-1 7732-18-5	-	<2000	<2000	10-100	1-10	1-10
17	69011-36-5 112-34-5	>90	>2000	-	1-10	-	-
18	7631-86-9	-	>2000	-	1-10	>100	1-10
19	69011-36-5	-	>2000	>2000	1-10	-	-
20	75718-16-0 69011-36-5	-	>2000	>2000	1-10	-	-
21	67-63-0 200-661-7	>90	>2000	-	1-10	-	-
22	67-63-0 126-73-8	>90	>2000	-	1-10	-	-
23	64742-49-0 67-63-0	Doğada kendiliğinden kolaylıkla çözünebilir.	>2000	-	1-10	>100	1-10
24	111-76-2 141-43-5 67-63-0 1310-73-2 68439-50-9	-	>2000	<2000	1-10	>100	-
25	75-28-5 106-97-8 74-98-6 64742-49-0	-	>2000	-	-	-	1-10
26	-	Biyolojik olarak parçalanmaları çok güçlüdür.	<2000	>2000	10-100	-	1-10
27	93951-21-4	Biyolojik olarak parçalanmaları çok güçlüdür.	<2000	>2000	10-100	-	1-10
28	68439-51-0 9011-36-5 7732-18-5	>90	>2000	-	1-10	1-10	-
29	107-21-1 55965-84-9	Biyolojik olarak parçalanmaz.	-	-	-	-	-
30	68955-53-3 1330-78-5	Biyolojik olarak birikme potansiyeli vardır.	>2000	-	-	-	-
31	68955-55-3 1330-78-5	Biyolojik olarak birikme potansiyeli vardır.	-	-	-	-	-
32	-	Biyokimyasal bozunma olması beklenir.	>2000	>2000	>100	>100	10-100
33	-	Yüksek ısılarda polimerik madde bozunmaya uğrayabilir.	>2000	>2000	>100	10-100	>100
34	700-820-5	Biyolojik olarak parçalanması güçlüdür.	>2000	-	>100	-	-
35	212652-59-0	Biyolojik olarak parçalanması güçlüdür.	>2000	-	>100	-	-
36	-	Biyolojik olarak parçalanması güçlüdür.	>2000	-	>100	-	-

Tablo 3. (Devamı)

37	7417-99-4 107-21-1	Biyolojik olarak parçalanmaz.	>2000	-	-	10-100	-
38	7681-52-9 1310-58-3	Biyolojik olarak parçalanmaz.	>2000	-	-	-	-
39	1310-73-2	Biyolojik olarak parçalanmaz.	-	-	>100	-	>100
40	-	Biyolojik olarak parçalanması güçtür.	>2000	-	>100	-	-
41	-	Biyolojik olarak parçalanmaz.	>2000	-	>100	>100	>100
42	128-39-2	Doğada kendiliğinden yok olması beklenmektedir.	-	-	-	-	-
43	128-39-2	Doğada kendiliğinden yok olması beklenmektedir.	-	-	-	-	-
44	79-01-6 127-18-4 67-56-1	Kendiliğinden doğada kolaylıkla çözünmez.	-	-	-	-	-
45	75-09-2 67-56-15 64-18-6	-	<2000	-	-	-	-
46	74-98-6 95-63-6 106-97-8 64742-48-9 68608-26-4	-	>2000	>2000	>100	>100	>100
47	74-98-6 95-63-6 64742-65-0 64742-48-9 106-97-8	-	>2000	>2000	>100	>100	>100
48	68955-53-3 128-39-2 112-90-3	-	-	-	-	-	-

^a CAS: Chemical Abstract Service Number. ^b Veri bulunmamaktadır.

3.3. Tesisin Kimyasal Azaltım Potansiyellerinin Belirlenmesi (Determination of the Chemical Reduction Potentials of the Facility)

Tesisin spesifik boyarmadde ve kimyasal tüketimleri literatürde ve IPPC Tekstil BREF dokümanlarında yer alan benzer tesis verileriyle kıyaslanmıştır. IPPC Tekstil BREF dokümanında ağırlıklı olarak pamuklu dokuma kumaş terbiye-boyaması yapan ve büyük ölçekli baskı dairesine sahip tekstil işletmelerinde spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinin sırasıyla 80-100 g/kg ürün ve 980-1.050 g/kg ürün aralığında değiştiği rapor edilmiştir (EC, 2003). Literatürdeki benzer çalışmalarda pamuklu dokuma kumaş terbiyesi-boyaması yapan tesislerde spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimleri 9-51 g/kg ürün ve 347-1.776 g/kg ürün arasında olduğu belirtilmiştir (Kalliala ve Talvenmaa, 2000; EIE, 2006; Öztürk, 2014). IPPC Tekstil BREF dokümanında ağırlıklı olarak pamuklu örgü kumaş terbiyesi-boyaması yapan tekstil işletmelerinde spesifik boyarmadde tüketimi 18 g/kg ürün ve spesifik yardımcı kimyasal tüketimi 670 g/kg ürün olarak rapor edilmiştir (EC, 2003). Literatürde ise pamuklu örgü kumaş terbiyesi yapan tekstil işletmelerinde spesifik boyarmadde ve kimyasal tüketimleri sırasıyla 10-50 g/kg ürün ve 233-1.552 g/kg ürün olarak belirtilmiştir (Kalliala ve Talvenmaa, 2000; EIE, 2006; Öztürk, 2014). Buna göre tesisin spesifik boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinin benzer tesis verilerinin minimum değerlerine kadar düşürülebilmesi için gerekli potansiyel azalma oranları hesaplanmıştır (Tablo 4). Tesiste dokuma kumaş üretiminde boyarmadde tüketiminde %38±18 ve yardımcı kimyasal tüketiminde %35±2 oranında azaltım potansiyeli olduğu bulunmuştur. Örgü kumaş üretiminde boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinde sırasıyla %69±18 ve %49±34 oranında azaltım potansiyeli olduğu bulunmuştur. Tesis genelinde ise boyarmadde tüketiminde %37±18 ve yardımcı kimyasal tüketiminde %61±1 oranında azaltım potansiyeli bulunmaktadır.

Tablo 4. Benzer Tekstil Tesisleri İle Spesifik Değerlerin Karşılaştırılması Ve Potansiyel Tasarruf/Azaltma Oranları (Comparison Of Specific Values And Potential Savings/Reduction Rates With Similar Textile Plants)

Kimyasal	Proses	Birim	Tekstil tesisi	Benzer tekstil tesisleri ^a	IPPC Tekstil BREF dokümanı ^b	Potansiyel azaltım oranı (%)
Boyarmadde	Dokuma kumaş	g/kg ürün	15±3	9-51	80-100	38±18
	Örgü kumaş		69±32	10-50	18	69±18
	Tesis geneli		19±4	9-51	18-100	37±18
Yardımcı kimyasal	Dokuma kumaş	g/kg ürün	535±9	347-1.776	980-1.050 ^c	35±2
	Örgü kumaş		1.248±371	233-1.552	670	49±34
	Tesis geneli		604±9	233-1.776	670-1050 ^c	61±1

^a Kalliala ve Talvenmaa, 2000; EIE, 2006; Öztürk, 2014. ^b EC, 2003. ^c Tekstil yardımcı kimyasalı ve temel kimyasal tüketimlerini ifade etmektedir.

3.4. Kimyasal Azaltımı ve Kimyasal Değişimi Uygulamaları (Chemical Reduction and Chemical Substitution Practices)

Tesiste yürütülen saha çalışmaları ve analiz çalışmaları sonucunda elde edilen bilgilere göre tesis özelinde toplam 10 kimyasal azaltım tekniğinin uygulanmasına karar verilmiştir (Tablo 5). Bu tekniklerin uygulanmasıyla elde edilecek tasarruf, çevresel fayda ve geri ödeme süreleri ile ilgili detaylar aşağıdaki alt başlıklar altında sunulmuştur.

Tablo 5. Kimyasal Azaltım Oranları Ve Geri Ödeme Süreleri (Chemical Reduction Rates And Payback Periods)

Teknikler	Azaltım oranı (%)	Yatırım maliyeti (TL)	Geri ödeme süresi (ay)
Kimyasal tüketimlerinin prosesler bazında izlenmesi	1-2	550.000-1.550.000	3-17
Çevresel açıdan daha az risk taşıyan kimyasalların tercih edilmesi	- ^a	- ^b	Hemen
Kimyasal reçetelerinin optimize edilmesi	1,5-3,2	-	Hemen
Örgü kumaş boyamada flotte oranlarının azaltılması	2,6-4,5	-	Hemen
Laboratuvar-boyahane koordinasyonun iyileştirilmesi	1,5-3	150.000-300.000	1-2
Otomatik kimyasal hazırlama ve dozlama sisteminin kurulması	3,5-5	3.500.000-10.000.000	8-32
Şablon ve rotasyon baskı makinelerinde baskı patı kayıplarının azaltılması	3-4,5	350.000-750.000	4-14
Şablon ve rotasyon baskı makinelerinde arta kalan baskı patının geri kazanımı	0,5-3,2	125.000-350.000	2-38
Su yumuşatma sisteminin optimizasyonu	0,8-0,9	126.000-160.000	8-11
Uygun proses atıksularının artılmadan geri kullanımı	0,5-1	150.000-375.000	8-41 ^c
Toplam	14,9-27,3		

^a Azaltım sağlanması beklenmemektedir. ^b Tesisin kendi imkanlarıyla gerçekleştirileceğinden ilk yatırım maliyeti bulunmamaktadır. ^c Geri ödeme süresi tuz maliyeti esas alınarak hesaplanmıştır.

3.4.1. Kimyasal Tüketimlerinin Prosesler Bazında İzlenmesi (Monitoring of Chemical Consumption on the Basis of Processes)

Tesiste su, enerji ve buhar tüketimleri prosesler bazında bilgisayar destekli yazılımlar ve izleme ekipmanlarıyla çevrimiçi olarak izlenmektedir. Ancak prosesler bazında kimyasal tüketimlerinin çok az bir kısmı izlenebilmektedir. Bu nedenle proseslerde kimyasal kullanım verimliliği tam olarak belirlenememektedir. Tesiste kimyasalları izlemek için gerekli ekipmanların kurulması, kimyasal tüketimlerinin kayıt altına alınması ve elde edilen verilerin mevcut proses bazlı izleme sistemine entegre edilmesi önerilmiştir. Bununla birlikte izleme sisteminden alınan verilerin hedeflenen değerlerle kıyaslanarak aylık olarak üst yönetime raporlanması için gerekli prosedürlerin oluşturulması önerilmiştir. Tesiste bu uygulamalar gerçekleştirilmiş ve böylelikle prosesler bazında kimyasal kullanım verimliliği izlenebilir hale getirilmiştir. Bu tesiste kimyasal kayıplarının önlenmesi ve gereksiz kimyasal kullanımlarının engellenmesi adına da önemli katkılar sağlamıştır. Prosesler bazında girdi-çıkıtların izlenmesi bir endüstriyel tesiste temiz üretimin yapılandırılması ve sürdürülebilirliğinin ilk koşulunu oluşturmaktadır (EC, 2003; Yu vd., 2014). Literatürde kimyasal tüketimlerinin prosesler bazında izlenmesiyle boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinde sırasıyla %1-6 oranında azalmalar sağlanabileceği rapor edilmiştir (Ozturk vd., 2016; 2020). Ayrıca kimyasal tüketimlerinin prosesler bazında izlenmesi uygulamasının geri ödeme süresi 12 aydan daha kısa olabilmektedir (Ozturk vd., 2020). Tesiste üretim prosesleri bazında kimyasal tüketimlerinin izlenmesiyle boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinde %1-3 oranında bir azalma sağlanabilir. Bunda özellikle baskı boyama proseslerinde baskı patı kayıplarının azaltılması etkili olmaktadır. Uygulama için tesisin kendi teknik personelinin iş gücünden ve halihazırda bir bilgisayar destekli izleme sistemi alt yapısının olması ilk yatırım maliyetlerini önemli ölçüde azaltmıştır. Ancak prosesler bazında gerekli ölçüm, tartım ve analizör maliyetlerinin 550.000-1.550.000 TL arasındadır. Uygulamanın potansiyel geri ödeme süresi 3-17 ay arasında bulunmuştur.

3.4.2. Çevresel Açıdan Daha Az Risk Taşıyan Kimyasalların Tercih Edilmesi (Preferring Chemicals With Less Environmental Risk)

Tesiste kullanılan toplam 450 kimyasal için detaylı bir kimyasal envanter çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda çevre ve insan sağlığı açısından risk taşıyan 48 kimyasalın çevre dostu ikameleriyle değişimleri önerilmiştir. Bu uygulamanın sürdürülebilirliği için bir prosedür oluşturulmuş ve basit bir yazılım geliştirilmiştir. Böylelikle satın alma departmanı tarafından alınacak kimyasalların seçiminde öncelikle MSDS formlarında yer alan bilgiler oluşturulan yazılıma girilmekte ve çevresel açıdan risk taşımadığının teyit edilmesi üzerine satın alma işlemine geçilmesi planlanmıştır. Ayrıca tesiste kullanılan tüm kimyasalların MGBF'lerinin sistemde depolanması sağlanmıştır. Ozturk vd. (2009), denim ürünleri üreten bir tekstil işletmesinde kimyasal değişimi çalışması yapmışlar ve toplam 128 kimyasaldan 8'inin sorunlu olduğunu tespit etmişlerdir. Bu kimyasalların daha az toksik olanlarla değiştirilmesi önerilmiştir. Kimyasal değişiminden sonra, sülfat içeren boyalarda %5 azalma ve atıksuyun sülfat içeriğinde %76 azalma sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Böylelikle kompozit atıksuyun biyolojik olarak parçalanabilirliğini %25 oranında artırılmasını sağlamışlardır (Ozturk vd., 2009). Ozturk vd. (2020) yünlü kumaş üretimi yapan entegre bir tekstil işletmesinde 371 kimyasal için envanter çalışması yapmışlar ve toplam 23 kimyasalın çevre dostu ikameleriyle değişimini sağlamışlardır. Böylelikle kimyasal tüketiminde ve atıksuların

kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) yüklerinde sırasıyla %3-5 ve %2-8 arasında azalma sağlamayı başarmışlardır. Uygulamanın geri ödeme süresinin yaklaşık 24 ay olduğunu rapor etmişlerdir (Ozturk vd., 2020). Tesiste bu uygulamayla boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinde azalma sağlanması beklenmemektedir. Ancak atıksuların KOİ yüklerinde önemli azalmalar sağlanabilir. Uygulama tesisin kendi personeli ve imkanları kullanılarak yapılmıştır. Dolayısıyla ilk yatırım maliyeti bulunmamaktadır. Ancak bazı kimyasalların çevre dostu ikameleri mevcut kimyasallara göre bir miktar daha pahalı olabilir. Uygulamanın geri ödeme süresinin hemen olacağı tahmin edilmektedir.

3.4.3. Kimyasal Reçetelerinin Optimize Edilmesi (Optimizing Chemical Recipes)

Tesiste yürütülen saha ve veri analizi çalışmalarından elde edilen bilgilere göre tesiste en sık kullanılan reçetelerden başlamak üzere tüm boyama-baskı reçetelerinin optimize edilmesinin gerekli olduğu görülmüştür. Kimyasal reçetelerinin optimizasyonu tesise önerilen diğer uygulamaların hayata geçirilmesi durumunda mecburen yapılması gereken bir uygulamadır. Reçetelerin optimize edilmesiyle gereğinden fazla kimyasal kullanımının ve kimyasal kayıplarının azaltılması hedeflenmiştir. Bu uygulama laboratuvar-boyahane koordinasyonunun iyileştirilmesi, otomatik kimyasal hazırlama ve dozlama sistemlerinin kurulması uygulamalarıyla da ilişkilidir. Barclay ve Buckley (2000) bir tekstil işletmesinde reçete optimizasyonu uygulamasıyla toplam kimyasal tüketiminde ve atıksuların kimyasal yüklerinde %10-50 arasında değişen oranlarda azaltım sağlanabileceğini rapor etmişlerdir. Başka bir çalışmada bir tekstil işletmesinde reçete optimizasyonu kimyasal tüketiminde %9-13 arasında azalma sağlanabilmiştir (Öztürk, 2014). Yünlü bir tekstil işletmesinde en sık kullanılan boyama reçetelerinin optimize edilmesiyle kimyasal tüketiminde ve atıksuların KOİ yüklerinde %2-4 arasında azalma sağlanabilmiştir (Ozturk vd., 2020). Tesiste kimyasal reçetelerinin optimize edilmesiyle boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinde %1,5-3,2 oranında azalmalar sağlanabileceği bulunmuştur. Uygulama için ilk yatırım maliyeti bulunmamakla birlikte geri ödeme süresinin hemen olması beklenmektedir.

3.4.4. Örgü Kumaş Boyamada Flotte Oranlarının Azaltılması (Reducing Liquor Ratios in Knitting Fabric Dyeing)

Tesiste spesifik boyarmadde ve spesifik yardımcı kimyasal tüketiminin en yüksek olduğu proseslerden birini örgü kumaş boyama prosesi oluşturmaktadır. Örgü kumaş ön terbiye, boyama ve son terbiye işlemleri HT boyama makinelerinde 1:10 flotte oranında yapılmaktadır. Örgü kumaşlar hassas karakterde olmalarına rağmen mevcut flotte oranlarının 1:8 seviyesine düşürülmesi ürün kalitesi üzerinde bir etki oluşturmayacaktır. Bu nedenle tesiste kullanılan HT boyama makinelerinde flotte oranlarının 1:10'dan 1:8'e düşürülmesine karar verilmiştir. Bu uygulamayla örgü kumaş üretiminde toplam boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinde %20'ye yakın bir azalma sağlanabilirken toplam üretim içerisinde örgü kumaş üretiminin daha az paya sahip olması nedeniyle toplam boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinde %2,6-4,5 oranında bir azalma sağlanabileceği hesaplanmıştır. IPPC Tekstil BREF dokümanında HT boyama makinelerinde flotte oranlarının azaltılmasıyla kimyasal ve su tüketimlerinde %40 oranında azalma sağlanabileceği ve yünlü kumaş dışında diğer kumaş türleri için bu uygulamanın yapılabileceği rapor edilmiştir (EC, 2003). Uygulamanın geri ödeme süresinin hemen olması beklenmektedir.

3.4.5. Laboratuvar-Boyahane Koordinasyonunun İyileştirilmesi (Improvement of Laboratory-Dyehouse Coordination)

Tekstil terbiye ve boyahanelerinde kimyasal kullanımında verimliliğin en önemli bileşenlerinden birini reçetelerin hazırlandığı kimyasal laboratuvarları ve hazırlanan reçetelerin uygulandığı proseslerdir. Kimyasal laboratuvarında reçetelerin hazırlanmasında mümkün olduğunca yüksek seviyede bir hassasiyete ihtiyaç vardır. Tekstil terbiye-boyamasında genellikle reçeteler öncelikle örnek boyamalar yapmak üzere hazırlanır, tekstil haslıkları analiz edilir ve müşteri onayı alındıktan sonra tam ölçekli üretime geçilmektedir. Reçete hazırlama sırasında gerekenden çok az miktarda daha fazla boyarmadde veya yardımcı kimyasal eklenmesi üretimde tonlarca kimyasalın gereksiz kullanımına, ekonomik kayıplara ve atıksu KOİ yüklerinin artmasına neden olmaktadır. Günümüzde birçok tekstil işletmesinde reçete hazırlama laboratuvarlarında bilgisayar destekli otomatik kimyasal hazırlama sistemleri kullanılmaktadır. Ancak sektörün büyük bir bölümünde kimyasal reçeteleri manuel yöntemlerle hazırlanmaktadır ve bu reçetelerde hata payını artırmaktadır. Kimyasalların verimli kullanımına etki eden diğer önemli bir bileşen ise laboratuvar ve laboratuvarla ilişkili diğer birimler arasındaki koordinasyonundaki eksikliklerdir. Laboratuvar ve üretim prosesleri arasındaki koordinasyonun iyileştirilmesi en yüksek seviyede veri tutmak ve elde edilen verilerin doğru analiz edilmesiyle gerçekleştirilebilir. Tesiste yürütülen saha çalışmalarında özellikle dokuma kumaş ön terbiye ve boyama-baskı proseslerinde ve örgü kumaş boyama proseslerinde spesifik boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Dokuma kumaş boyama proseslerinde boyama sonrasında fularda çok fazla miktarda boyarmadde kalmakta ve israf edilmektedir. Diğer taraftan dokuma kumaş şablon ve rotasyon baskı işlemlerinde gerek baskı patı besleme

tanklarının boyutunun uygun olmaması gerekse de rakle, pompa ve borularda yüksek miktarda (%10-15 oranında baskı patı kaybı) baskı patının israf edilmesi yüksek boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinde etkili olduğu bulunmuştur. Örgü kumaş boyamasında ise boyama sonrasında taşar yıkamaların çok sık yapıldığı tespit edilmiştir. Boyama sonrası yıkama işlemleri tekstil materyali üzerinde kalan fazla boyanın uzaklaştırılması için yapılır. Eğer proses işletim şartlarında veya boyama reçetesinde bir hata varsa tekstil materyali üzerinde çok daha fazla boyarmadde kalmaktadır. Bu fazla boyarmaddeyi uzaklaştırmak için taşar yıkama yapılması gerekli olmaktadır. Tesiste laboratuvar ve boyahane koordinasyonunun iyileştirilmesi için mevcut izleme yazılımının proses bazlı geri dönüş sağlayacak şekilde revize edilmesi, kimyasal hazırlamada daha hassas bilgisayar destekli otomatik ve modern sistemlerin kullanılması, kimyasal ve baskı patı hazırlamada optimum miktarda kimyasal hazırlanması için gerekli prosedürlerin hazırlanması ve uygulanması, denetlenebilir ve izlenebilir performansın geliştirilmesi değerlendirme prosedürlerinin hazırlanması ve uygulanması önerilerinde bulunulmuştur. Bu uygulamaların büyük bir bölümü tesisin kendi kaynaklarından karşılanacak olsa da gerekli ölçüm ve laboratuvar donanımları için 150.000-300.000 TL arasında bir ilk yatırım maliyeti gerekli olmaktadır. Uygulamayla boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinde %1,5-3 oranında azaltım sağlanacağı bulunmuştur. Uygulamanın geri ödeme süresi 1-2 ay arasında olacağı hesaplanmıştır. Ozturk vd. (2020) yünlü bir tekstil işletmesinde labotatuvar-boyahane arasındaki koordinasyonun iyileştirilmesiyle toplam kimyasal tüketiminde %1-6 ve kompozit atıksuların KOİ yüklerinde %1-3 oranında azalmalar sağlanmışlardır. Uygulama için geri ödeme süresinin 12-24 ay arasında olacağını hesaplamışlardır.

3.4.6. Otomatik Kimyasal Hazırlama ve Dozlama Sisteminin Kurulması (Installation of Automatic Chemical Preparation and Dosing System)

Tekstil işletmeleri için otomatik kimyasal dozajlama ve kimyasal hazırlama sistemleri, yüksek yatırım maliyetleri gerektirebilir, ancak önemli kimyasal tasarruflar sağlar (Ozturk vd., 2020). Otomatik kimyasal dozlama sistemlerini kullanarak, kimyasal tüketiminin %11-20'sini ve atıksuların taşıdıkları kimyasal yükün %20-50'sini azaltmak mümkündür (DEPA, 2002; LCPC, 2010). Tesise göre değişmekle birlikte uygulamanın geri ödeme süresi yaklaşık 36 aydır (UNIDO, 2012). Ozturk vd. (2020) bir tekstil işletmesinde otomatik dozlama sistemlerinin kullanımıyla kimyasal tüketiminde %4-6 oranında azaltım sağlanmışlardır. Uygulamanın geri ödeme süresini 4-12 ay arasında bulmuşlardır. Tesiste yürütülen çalışmalarda kimyasal kayıplarının azaltılması, fazla kimyasal kullanımının önlenmesi ve laboratuvar-boyahane arasındaki koordinasyonun iyileştirilmesi için bilgisayar destekli otomatik kimyasal hazırlama ve dozlama sistemlerinin kurulmasına karar verilmiştir. Tesiste otomatik kimyasal dozlama sistemi bulunmaktadır. Ancak kimyasal dozlama sistemiyle boyarmaddelerin ve bazı kimyasalların dozlaması yapılmamaktadır. Boyarmaddelerin ve dolanmayan yardımcı kimyasalların da mevcut dozlama sistemine entegre edilmesine karar verilmiştir. Bu uygulama için gerekli ilk yatırım maliyeti 3.5-10 milyon TL'dir. İlk yatırım maliyetinin neredeyse yarısını otomatik kimyasal hazırlama sistemleri oluşturmaktadır. Tesiste hali hazırda otomatik dozlama sistemi altyapısı bulunması ve sadece diğer kimyasalları da kapsayacak şekilde revize edilmesi gerektiğinden ilk yatırım maliyeti beklenenden daha az bulunmuştur. Uygulamayla toplam boyarmadde ve kimyasal tüketiminde %3,5-5 oranında azalmalar sağlanacağı hesaplanmıştır. Uygulamanın geri ödeme süresi 8-32 ay arasında bulunmuştur.

3.4.7. Şablon ve Rotasyon Baskı Makinelerinde Baskı Patı Kayıplarının Azaltılması (Reducing Printing Paste Losses in Flatbed and Rotary Screen Printing Machines)

Tekstil şablon ve rotasyon baskı makinelerinde hazırlanan baskı patının önemli bir bölümü kaybedilmektedir. Basılacak tekstil materyalinin desenine ve miktarına bağlı olarak, baskı patı telefinin miktarı, tekstil materyali üzerine aktarılan baskı patı miktarından daha yüksek bile olabilmektedir (EC, 2003). Örneğin 250 m bir kumaş için 7 farklı renk kullanılarak baskısı yapılması durumunda 40 kg baskı patına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak raklede, borularda, pompalarda ve şablonlarda kalan baskı patları her bir renk için ortalama 6,5-8,5 kg olabilmektedir. Bu durumda 250 m uzunluğunda bir kumaşın baskı işlemleri sırasında toplam 45-60 kg baskı patı (kumaşa apliance edildenden daha fazla) israf edilmektedir (EC, 2003). Tesiste yürütülen saha ve analiz çalışmalarından elde edilen bilgilere göre şablon ve rotasyon baskı makinelerinde yüksek miktarda baskı patının israf edildiği tespit edilmiştir. Bunun ortadan kaldırılmasına yönelik olarak raklelerin modifikasyonu, baskı patı kaplarının optimize edilmesi, baskı patı besleme prosedürlerinin optimize edilmesi, besleme ekipmanlarında kalan baskı patlarının geri kazanılması önerilmiştir. Uygulama için gerekli ilk yatırım maliyeti 350.000-750.000 TL ve uygulamayla toplam boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinde %3-4,5 oranında azalmalar sağlanabileceği hesaplanmıştır. Uygulamanın geri ödeme süresi 4-14 ay arasında bulunmuştur.

3.4.8. Şablon ve Rotasyon Baskı Makinelerinde Arta Kalan Baskı Patının Geri Kazanımı (Recovery of Printing Paste from Flatbed and Rotary Screen Printing Machines)

Tesiste şablon ve rotasyon baskı makinelerinde artakalan baskı patlarının geri kazanımı önerilmiştir. Bu kapsamda artakalan farklı renklerdeki baskı patları ayrı toplanıp birleştirilerek siyah renk boya üretimi sağlanabilmektedir. Tesiste bu uygulamayla yıllık 11 tona yakın siyah boya üretimi gerçekleştirilmiştir. Uygulama için gerekli ilk yatırım maliyeti 125.000-350.000 TL arasındadır ve gerekli donanımların büyük bir bölümü tesisteki mevcut imkanlarla sağlanmış olması ilk yatırım maliyetlerinin düşük olmasında etkili olmuştur. Uygulamayla toplam boyarmadde ve kimyasal tüketiminde %0,5-3,2 oranında azalmalar sağlanacağı belirlenmiştir. Uygulamanın potansiyel geri ödeme süresinin 38 aydan daha kısa olacağı bulunmuştur.

3.4.9. Su Yumuşatma Sisteminin Optimizasyonu (Optimization of Water Softening Unit)

Su yumuşatma sistemleri neredeyse tüm imalat sanayide proses suyu hazırlamada kullanılmaktadır. Su yumuşatma sisteminde kullanılan katyonik iyon değiştirici reçinelerin yüzeyleri belirli miktarda su yumuşatma işlemi sonrasında Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarıyla kaplanmaktadır. Bu durumda reçinelerin tuzlu suyla geri yıkayıp rejenere edilmeleri gerekli olmaktadır. Özellikle tekstil işletmeleri gibi yüksek miktarda proses suyu tüketilen işletmelerde katyonik iyon değiştirici reçinelerin rejenerasyonu için toplam su tüketiminin %5-10'u kullanılmaktadır (AIG, 2012; Ozturk vd., 2016). Her bir rejenerasyon işleminde yıkama, rejenerasyon ve durulama yapılmaktadır. Rejenerasyon atıksuları yüksek miktarda tuz içerdiğinde yüksek elektriksel iletkenliğe sahiptir. Genellikle doğrudan atıksu kanalına verilerek uzaklaştırılmaktadır.

Tesiste proses suyu hazırlamada katyonik iyon değiştirici reçineler kullanılmaktadır. Yürütülen saha çalışmalarında toplam su tüketimindeki yüksek payları nedeniyle su yumuşatma sistemlerinde rejenerasyon sıklıkları ve sürelerinin optimize edilmesi gerektiği görülmüştür. Bu kapsamda su yumuşatma ünitesinde bulunan her bir katyonik iyon değiştiriciye online sertlik sensörleri kurularak rejenerasyon sıklıklarının optimize edilmiştir. Ayrıca rejenerasyon sürelerinin (yıkama ve durulama dahil) yaklaşık %25 kısaltılmıştır. Bu uygulamalar için gerekli ilk yatırım maliyeti 126.000-160.000 TL'dir. Uygulamayla toplam kimyasal tüketiminde %0,8-0,9 oranında (su yumuşatma sisteminde kullanılan tuz tüketiminde %20) azalma sağlanacağı hesaplanmıştır. Uygulamanın geri ödeme süresi 8-11 arasında bulunmuştur.

3.4.10. Uygun Proses Atıksularının Artılmadan Geri Kullanımı (Reuse of Suitable Process Wastewaters Without Treatment)

Tekstil terbiye ve boyamasında kullanılan kimyasalların yarısına yakını atıksu akımlarıyla birlikte prosesten uzaklaştırılır. Özellik ön terbiye ve son terbiye (apre) işlemlerinden kaynaklanan atıksular nispeten temiz karakterdedir ve artılmadan aynı proseste geri kullanılabilir (Ozturk vd., 2016; Ozturk vd., 2020). Ön terbiye işlemlerinde yıkama makinelerinin son banyoları, merserizasyon sonrası yıkama banyoları, nötr yıkama banyoları, sabunlama banyoları ve yumuşatma banyoları genellikle artılmadan aynı proseste geri kullanılabilir nitelikte olmaktadır (Ozturk ve Cinperi, 2018). Böylelikle bu atıksuların içerdikleri kimyasalların da geri kullanımı sağlanabilmektedir (Öztürk, 2014). Böylelikle atıksu miktarları ve atıksuların taşıdıkları kimyasal yükler de azaltılabilmektedir (USEPA,1996; EEAA, 1999; EC, 2003). Ozturk vd. (2020) bir tekstil işletmesinde son yıkama-durulama banyoları, yumuşatma banyosu ve nötralizasyon banyosu atıksularının geri kullanımıyla kimyasal tüketiminde %6-9 ve kompozit atıksuların KOİ yüklerinde %3-10 arasında azalmalar sağlandığını rapor etmiştir. Uygulamanın geri ödeme süresinin 24 aydan daha kısa bulunmuştur. Tesiste yürütülen çalışmalarda merserizasyon atıksularından kostik geri kazanım ünitesinin (evaporatör) daha etkin kullanımı, sabunlama banyosu ve yumuşatma banyolarında oluşan atıksuların geri kullanımı, nötr yıkama banyolarının geri kullanımı uygulamalarının yapılmasına karar verilmiştir. Tesiste merserizasyon atıksularından kostiğin geri kazanılması kostik kullanımının azaltılmasında ve atıksu arıtma tesisine verilen kimyasal yüklerin azaltılmasında etkili olacaktır. Diğer taraftan kompozit atıksuyun nötralizasyon gereksiniminin de azaltılmasında etkili olacaktır. Nötr yıkama banyoları genellikle asidik karakterdedir. Nötr yıkama banyolarının aynı proseste geri kullanılması asit tüketimini azaltacak ve atıksu arıtma tesisine verilen kompozit atıksuyun asit yüklerini azaltacaktır. Kumaş yumuşatma işlemlerinde ise yüksek miktarda yumuşatıcılar kullanılmaktadır. Yumuşatma banyolarının aynı proseste geri kullanımı yumuşatıcıların geri kazanılan suyla birlikte kullanımını sağlayacağından hem yumuşatıcı tüketiminin azaltılmasında hem de kompozit atıksuların taşıdıkları kimyasal yüklerinde önemli azalmalar sağlayacaktır. Önerilen bu su ve kimyasal geri kazanımı uygulamalarıyla kompozit atıksuların taşıdıkları kimyasal yükler miktarsal olarak azalacağı gibi atıksu arıtma tesisinin biyolojik arıtma performansının da iyileşmesine katkı sağlanacaktır. Bu uygulamalarla toplam yardımcı kimyasal tüketiminde %0,5-1 arasında azalmalar sağlanacağı hesaplanmıştır. Uygulama için gerekli ilk yatırım maliyeti 150.000-375.000 TL ve geri ödeme süresi 8-41 ay arasında bulunmuştur.

4. Sonuçlar (Conclusions)

Entegre bir tekstil tesisinde kimyasal azaltımı ve kimyasal envanter çalışması yapılmıştır. Kimyasal analiz çalışmaları kapsamında tesisin spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimleri sırasıyla 19 ± 4 ve 604 ± 9 g/kg ürün bulunmuştur. Tesiste spesifik boyarmadde tüketiminin en yüksek olduğu prosesler dokuma kumaş boyama (81 ± 23 g/kg ürün) ve örgü kumaş boyama (69 ± 32 g/kg ürün) proseslerinde bulunmuştur. Tesiste spesifik yardımcı kimyasal tüketimlerinin ise dokuma kumaş mercerizasyon (855 ± 175 g/kg ürün), boyama (1.313 ± 134 g/kg ürün) ve örgü kumaş boyama (1.007 ± 300 g/kg ürün) ve apre (385 ± 114 g/kg ürün) proseslerinde olduğu tespit edilmiştir. Tesisin spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimleri benzer tesis verileriyle kıyaslanarak potansiyel tasarruf oranları belirlenmiştir. Buna göre tesisin spesifik boyarmadde ve spesifik yardımcı kimyasal tüketimlerinde sırasıyla $\%37\pm 18$ ve $\%61\pm 1$ oranlarında potansiyel azaltım sağlanabileceği bulunmuştur.

Tesiste boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinin azaltılmasına yönelik olarak kimyasal tüketimlerinin prosesler bazında izlenmesi, kimyasal reçetelerinin optimize edilmesi, örgü kumaş boyamada flote oranlarının azaltılması, laboratuvar-boyahane koordinasyonunun iyileştirilmesi, otomatik kimyasal hazırlama ve dozlama sistemlerinin kurulması, şablon ve rotasyon baskı bakinelerinde baskı patı kayıplarının azaltılması ve geri kazanımı, su yumuşatma sisteminin optimizasyonu ve uygun proses atıksularının arıtılmadan geri kullanımı tekniklerinin uygulanmasına karar verilmiştir. Ayrıca tesiste kullanılan toplam 450 kimyasalın MGBF incelenerek kapsamlı bir kimyasal envanter çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda toplam 48 kimyasalın çevresel açıdan riskli (çok toksik/toksik karakterde, biyodegradasyon oranı $<\%70$ olan ve mikrokirletici içeren) olduğu tespit edilmiştir. Bu kimyasalların daha çevre dostu ikameleriyle (toksik olmayan ya da düşük toksisteye sahip, biyodegradasyon oranı $>\%70$ ve mikrokirletici içermeyen) değişimleri önerilmiştir.

Tesiste kimyasal tüketimlerinin azaltılması ve kimyasal değişimi için toplam 10 tekniğin uygulanmasına karar verilmiştir. Belirlenen tekniklerin her biri ile kimyasal tüketimlerinde sağlanacak azalma oranları hesaplanmıştır. Ayrıca belirlenen her bir teknik için tahmini yatırım maliyetleri belirlenmiş ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Belirlenen tekniklerin tesiste uygulanmasıyla toplam boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinde $\%14,9-27,3$ arasında değişen oranlarda azalmalar sağlanabileceği bulunmuştur. Uygulamaların tümü göz önüne alındığında geri ödeme süresinin 41 aydan daha kısa olacağı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar düşük maliyetli uygulamalarla tekstil üretimindeki verimsizlikleri ortadan kaldırarak kimyasal tüketiminde önemli azaltımlar sağlanabileceğini göstermiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Archana, L.K.N., Siva, K.R.R., 2012. Biological Methods of Dye Removal from Textile Effluents-A Review. *J Biochem Technol* 3, 177–180. <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1393263>
- Arivithamani, N., Agnes, Mary. S., Senthil Kumar. M., Giri, Dev V.R., 2014. Keratin Hydrolysate as an Exhausting Agent in Textile Reactive Dyeing Process. *Clean Techn Environ Policy* 16, 1207–1215. <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0718-7>
- Australian Industry Group (AIG), 2012. Water Saving Fact Sheet: Textile Industry. Austrian Industry Group.
- Barclay, S., Buckley, C., 2000. Waste Minimization Guide for the Textile Industry: A Step Towards Cleaner Production. The South African Water Research Commission, the Pollution Research Group, South African Republic.
- Carmen, Z., Daniela, S., 2012. Textile Organic Dyes-Characteristics, Polluting Effects and Separation/Elimination Procedures from Industrial Effluents-A Critical Overview. In: Puzyn, T., (Ed.) *Environmental Sciences: Organic Pollutants Ten Years after the Stockholm Convention-Environmental and Analytical Update*. InTech Press, pp 55–86. ISBN 978-953-307-917-2
- Danish Environmental Protection Agency (DEPA), 2002. Danish Experience Best Available Techniques-BAT in the Clothing and Textile Industry. Danish Environmental Protection Agency (DEPA), Working Report.
- Desore, A., Narula, A.S., 2018. An Overview on Corporate Response Towards Sustainability Issues in Textile Industry. *Environ Dev Sustain* 20, 1439–1459. <https://doi.org/10.1007/s10668-017-9949-1>
- Egyptian Environmental Affairs Agency (EEAA), 1999. Guidance Manual Cleaner Production for Textiles Water and Energy Conservation. Technical Co-operation Office for the Environment, UK.
- European Commission (EC), 2000. European Commission Water Framework Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. Off. J. Eur. Communities.
- European Commission (EC), 2003. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) reference document on Best Available Techniques for the Textile Industry (BREF). European Commission IPPC Bureau, Seville.

- Intelligent Energy Europe (IEE), 2006. EMS-Textile Project: promotion of energy management practices in the textile industries of Greece, Portugal, Spain and Bulgaria, benchmarking information V.4. (IEE/04/113/S07.38648), European Commission, Brussels, Belgium.
- Kalliala, E., Talvenmaa, P., 2000. Environmental Profile of Textile Wet Processing in Finland. *J Clean Prod* 8, 143–154. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(99\)00313-3](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(99)00313-3)
- Kumar, P.S., Saravanan, A., 2017. Sustainable Wastewater Treatments in Textile Sector. In: Muthu, S.S., (Ed.) *The Textile Institute Book Series: Sustainable Fibers And Textiles*. Elsevier Woodhead Publishing, pp. 323–346. ISBN: 978-0-08-102042-5
- Lebanese Cleaner Production Center (LCPC), 2010. *Cleaner Production Guide for Textile Industries*. Lebanese Cleaner Production Center, Beirut.
- Marechal, A.M.L., Krizanec, B., Vajnhandl, S., Valh, J.V., 2012. Textile Finishing Industry as an Important Source of Organic Pollutants. *Organic Pollutants Ten Years after the Stockholm Convention-Environmental and Analytical Update*.
- Mia, M.S., Hasan, F.K.M., Ashaduzzaman, A.M.R., Hasan, S.F., 2016. Effective Processing Time & Cost of Management of Dyes. *Chemicals & Utilities (Heat, Gas, Electricity, Air & Water etc.) Used in Knit Dyeing For Combed & Compact Yarn Manufactured Fabric of Dyeing Textile Industries*. *Am J Energy Environ* 1, 1–16.
- Mor, S., Chhavi, M.K., Sushil, K.K., Ravindra, K., 2018. Assessment of Hydrothermally Modified Fly Ash for the Treatment of Methylene Blue Dye in the Textile Industry Wastewater. *Environ Dev Sustain* 20, 625–639. <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9902-8>
- Ogugbue, C.J., Sawidis, T., 2011. Bioremediation and Detoxification of Synthetic Wastewater Containing Triarylmethane Dyes by *Aeromonas Hydrophila* Isolated from Industrial Effluent. *Biotechnol Res Int*. <https://doi.org/10.4061/2011/967925>
- Öztürk, E., 2014. *Tekstil sektöründe entegre kirlilik önleme ve kontrolü ve temiz üretim uygulamaları*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 525s, Isparta.
- Ozturk, E., Cinperi, N.C., 2018. Water Efficiency and Wastewater Reduction in an Integrated Woolen Textile Mill. *J Clean Prod*. 201, 686–696. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.021>
- Ozturk, E., Cinperi, N.C., Kitis, M., 2020. Green Textile Production: A Chemical Minimization and Substitution Study in a Woolen Fabric Production. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27, 45358–45373. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10433-8>
- Ozturk, E., Koseoglu, H., Karaboyaci, M., Yigit, N.O., Yetis, U., Kitis, M., 2016. Minimization of Water and Chemical Use in a Cotton/Polyester Fabric Dyeing Textile Mill. *J Clean Prod* 130, 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.080>
- Ozturk, E., Yetis, U., Dilek, F.B., Demirer, G.N., 2009. A Chemical Substitution Study for a Wet Processing Textile Mill in Turkey. *J Clean Prod* 17, 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.05.001>
- Radej, B., Zakotnik, I., 2003. Environment as a Factor of National Competitiveness Inmanufacturing. *Clean Techn Environ Policy* 5, 254–264. <https://doi.org/10.1007/s10098-003-0202-2>
- Tanapongpipat, A., Khamman, C., Pruksathorm, K., Hunsom, M., 2008. Process Modification in the Scouring Process of Textile Industry. *J Clean Prod* 16, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.06.016>
- Thiry, M.C., 2011. *Staying Alive: Making Textiles Sustainable*. AATCC Review November/December.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), 2012. *Energy Efficiency in Electronic Motor Systems: Technology Saving Potentials and Policy Options for Developing Countries*. United Nations Industrial Development Organization, Vienna.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1996. *Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry*. USEPA Office of Research Information, Cincinnati.
- Yaseen, D.A., Scholz, M., 2018. Treatment of Synthetic Textile Wastewater Containing Dye Mixtures with Microcosms. *Environ Sci Pollut Res* 25, 1980–1997. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0633-7>
- Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY), 2015. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Resmi Gazete Sayı: 29327. Erişim linki: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150415-18.htm>
- Yu, J.Q., Chen, Y., Shao, S., Zhang, Y., Liu, S., Zhang, S., 2014. A Study on Establishing an Optimal Water Network in a Dyeing and Finishing Industrial Park. *Clean Techn Environ Policy* 16, 45–57. <https://doi.org/10.1007/s10098-013-0592-8>
- Yukseler, H., Uzal, N., Sahinkaya, E., Kitis, M., Dilek, F.B., Yetis, U., 2017. Analysis of the Best Available Techniques for Wastewaters from a Denim Manufacturing Textile Mill. *J Environ Manag* 203, 1118–1125. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.041>



HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİNDE BULANIK SWARA YÖNTEMİNİN KULLANIMI: OTOMOTİV SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ

Eda BEYLİHAN^{1*}, Sermin ELEVİLİ¹

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA),
Bulanık Mantık,
Bulanık HTEA,
Bulanık SWARA,
Bulanık Risk
Önceliklendirme.

Öz

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), işletmelerde oluşabilecek hataların önceden tespit edilerek, önlem alınmasını ve raporlanmasını sağlayan bir tekniktir. HTEA çalışmalarında belirlenen hataların her birine olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik değerleri atanmakta ve bu değerlerin çarpılmasıyla Risk Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplanmaktadır. Söz konusu hatalara yönelik önlem alınmasında hesaplanan RÖS değerlerinden faydalanılmaktadır. Bununla birlikte olasılık, şiddet ve tespit edilebilirliğe atanan değerlerin dilsel ifadeler karşılık gelen sayısal tablolardan alınması ve her bir risk faktörüne eşit önem verilmesi gibi yöntemde dönük bazı zayıflıklar bulunmaktadır. Son yıllarda bu zayıflıkların giderilmesinde birçok çalışmalar yapılmış olup, bulanık uzman odaklı yaklaşımlardan yararlanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın kalite ekibi ile birlikte seçilen bir ürün kapsamında yapılan HTEA çalışmasında risk faktörlerinin ağırlıklandırılmasında Bulanık SWARA yönteminden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre firmanın kalite ekibine yeni yöntemler entegre edilmiş HTEA çalışması ile birlikte, hangi hata nedeni ve türünün öncelikli olarak ele alınması ve çözülmesi gerektiği hakkında bilgilendirme yapılmıştır.

USE OF THE FUZZY SWARA METHOD IN FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS: CASE OF AUTOMOTIVE INDUSTRY

Keywords

Failure Mode Effects Analysis (FMEA),
Fuzzy Logic,
Fuzzy FMEA,
Fuzzy SWARA,
Fuzzy Risk Prioritization.

Abstract

Failure Mode Effects Analysis (FMEA) is a technique that enables the determination of the errors that may occur in the enterprises, taking precautions and reporting them. Probability, severity and detectability values are assigned to each of the errors identified in FMEA studies, and the Risk Priority Number (RPN) is calculated by multiplying these values. The calculated RPN values are used to take precautions against the said errors. However, there are some methodological weaknesses such as taking the values assigned to probability, severity and detectability from numerical tables corresponding to linguistic expressions and giving equal importance to each risk factor. In recent years, fuzzy expert-oriented approaches have begun to be used to overcome these weaknesses. In this study, the Fuzzy SWARA method was used to weight the risk factors in the FMEA study, which was carried out within the scope of a product selected together with the quality team of a company operating in the automotive sector. According to the results obtained, the company's quality team was informed about which error reason and type should be handled and resolved with priority, together with the FMEA study, which integrated new methods.

Alıntı / Cite

Beylihan, E. ve Eleveli, S. (2023), Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık Swara Yönteminin Kullanımı: Otomotiv Sektörü Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 212-224.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Beylihan, 0000-0002-6163-1637
S. Eleveli, 0000-0002-7712-5536

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	09.03.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	09.12.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	12.12.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: eda.beylihan@omu.edu.tr, +90-362-457-5656

USE OF THE FUZZY SWARA METHOD IN FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS: CASE OF AUTOMOTIVE INDUSTRY

Eda Beylihan^{1†}, Sermin Elevli¹

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye

Highlights

- Integration of fuzzy logic into the Failure Mode and Effects Analysis(FMEA) study
 - Criterion weighting study to prevent equal weighting of risk factors
 - Use of fuzzy SWARA method in FMEA study
-

Purpose and Scope

In the traditional FMEA approach, risk priority numbers are used to classify error types. Equal importance is given to all of these priority numbers, decision makers are not allowed to be evaluated one by one, and approximate values are taken into account when expressing them numerically.

Design/methodology/approach

Within the scope of the study, linguistically risk factors were assigned by each decision maker in the FMEA team in order to solve the weaknesses of the traditional FMEA method. Then, each risk factor was weighted together with the Fuzzy SWARA method, which was developed within the scope of criterion weighting studies in order to prevent equal weighting of risk factors. It is predicted that more accurate ideas will be given to the producers about which error type should be solved first with the Fuzzy SWARA integrated Fuzzy FMEA method used in the application of the study.

Findings

Fuzzy FMEA RPN values integrated with the Fuzzy SWARA method, which was developed within the scope of the study, were revealed. With the improved RPN values calculated, the FMEA team can inform the company managers about which error cause and type should be handled and resolved first.

Originality

As can be seen in the literature review of the study, many methods were used in the weighting studies. However, there is no study conducted in the automotive industry integrated with the Fuzzy Swara method. In this context, it is seen as a study with high academic contribution.

[†] İlgili yazar / Corresponding author: eda.beylihan@omu.edu.tr, +90-362-457-5656

1. Giriş (Introduction)

Günümüz rekabet koşullarında işletmelerin temel amacı müşteri isteklerini karşılayabilecek ürün ve hizmetleri en karlı şekilde sunabilmektir. Müşterilerin düşük fiyatlı ve yüksek kaliteli ürün ya da hizmet taleplerini sağlamak isteyen işletmeler Toplam Kalite Yönetimi temelli üretim anlayışını benimsemek zorunda kalmaktadır. Bu anlayışın itici unsuru “sürekli iyileştirme” felsefesi olup, olası ve/veya var olan hataların ortadan kaldırılmasını ve her defasında daha iyiye ulaşmayı esas almaktadır.

Bir işletmedeki süreçlerde olası hataların tespit edilmesi ve giderilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden birisi Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)' dir. Hata oluşmadan veya müşteriye ulaşmadan önce engelleme prensibine dayandığından, önleyici bir tekniktir. HTEA yöntemi ilk olarak NASA tarafından 1963 yılında güvenlik gereksinimleri için kullanılmıştır. O zamandan bu yana özellikle havacılık, nükleer ve otomotiv endüstrilerinde ürünlerin ve süreçlerin emniyet ve güvenilirlik analizi için güçlü bir araç olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Gilchrist, 1993; O'Connor, 2009; Ebeling, 2000). HTEA' nın temel amacı; düzeltmenin nispeten kolay ve düşük maliyetli olduğu tasarım ve geliştirme aşamalarında ürün ya da süreçlerde ortaya çıkan/ çıkabilecek hataları müşteriye ulaşmadan önce önlemek, kaliteyi artırmak ve kalitesizlik kaynaklı başarısızlık maliyetlerini azaltmaktır. HTEA'da hata türleri aşağıda verilen formüle göre hesaplanan RÖS değerlerine göre sıralanmakta ve en yüksek önceliğe sahip hata türlerinden başlanmak üzere önlemler alınmakta ve iyileştirmeler yapılmaktadır.

$$\text{Risk Öncelik Sayısı (RÖS)} = \text{Olasılık} \times \text{Şiddet} \times \text{Tespit Edilebilirlik} \quad (1)$$

RÖS formülünde “Olasılık” hatanın gerçekleşme sıklığını, “Şiddet” hatanın müşteri üzerindeki etkisini ve “Tespit Edilebilirlik” ise hatanın müşteriye ulaşmadan saptanma seviyesini göstermektedir. Bu değerlerin her biri uzmanların görüşü ile 1-10 arasında değerler almaktadır.

Günümüzde işletmelerde yaygın şekilde kullanılan HTEA yaklaşımı birçok problemin önceden tanımlanmasına ve önlenmesine yardımcı olan bir araçtır. HTEA çalışmaları ve sanayi uygulamaları yaygınlaştıkça elde edilen sonuçlar HTEA'nın gerçek uygulamalarda ve sonuçların değerlendirilmesinde bazı zayıflıklarının olduğunu ortaya çıkarmıştır (Wu ve Wu,2021). Son yıllarda belirlenen bu kısıtlamaların aşılmasına ilişkin çalışmalar artma eğilimi göstermektedir. Yapılan çalışmalarda belirtilen en önemli kısıtlamalar aşağıda sıralanmıştır.

- Farklı hata durumları için hesaplanan RÖS değerlerinde aynı değeri alan birçok sonuç söz konusu olmaktadır. Böyle bir durumda bu hataların etkileri (olasılık, şiddet, tespit edilebilirlik) farklı olsa da aynı sıralamada değerlendirilmektedir. Bu gibi durumlarda yüksek şiddetli olan hatanın göz ardı edilme durumu ortaya çıkabilmektedir (Pillay ve Wang, 2003). Farklı RÖS değerlerini elde edebilmek için hatanın etkilerine farklı ağırlıklar verilmesi gerekmektedir. Ancak geleneksel yöntemde her bir etkinin ağırlığı aynı olarak dikkate alınmaktadır (Tay ve Lim, 2006).
- Risk faktörlerinin değerleri önceden hazırlanmış tablolara göre sınırlandırılmaktadır. Ancak gerçek hayatta bu derecelendirmeleri belirlemek ve kesin sayısal değerler vermek her zaman mümkün olamamaktadır.
- RÖS hesaplanmasında uzman kişilerin görüşleri ele alınmakta ve sonuçlar kişinin uzmanlık deneyimine göre farklılıklar gösterebilmektedir. Bu şekilde HTEA ekibine dahil olan uzman kişilerin bilgi ve deneyim farklılıkları da HTEA'nın sonucunu etkileyen önemli faktörlerdendir. Geleneksel yöntemde karar vericilerin ortak değerlendirmeleri dikkate alınmak olup ayrı ayrı her bir risk faktörü için değerlendirmeleri bulunmamaktadır.

Bulanık mantık ve çok kriterli karar vermede kullanılan kriter ağırlıklandırma yöntemleri bu kısıtlamaları gidermekte yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar geleneksel HTEA'nın yukarıda verilen kısıtlamaları aşağıda sıralandığı şekilde geliştirilerek elimine edilmiştir:

- RÖS hesaplaması yapılırken şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik değerlerine her zaman sayısal değerler vermek mümkün olamamaktadır. Bu anlamda verilecek değerler sürece göre değişkenlik göstererek, aralık şeklinde belirtilebilmektedir. Geleneksel HTEA analizinde kullanılan birçok kesin sayısal ifadenin yerine dilsel ifadelerle çalışılması hem daha gerçekçi hem de daha kolay olmaktadır. Geleneksel HTEA' da bilgi yetersizliğinden dolayı çözüm yapmakta zorlanılırken, bulanık mantık yaklaşımı ile bilginin yetersiz olması durumunda bile kolay çözümler sağlanabilmektedir. Bulanık HTEA yaklaşımı risklerin değerlendirilmesinde işletmelere kesin veriler değil de, daha dilsel verilerle işlem yapma kolaylığı sağlamaktadır. Risk faktörlerini kesin tablolardaki değerlere göre değil “az”, “çok” veya “çok yüksek” gibi dilsel terimlerle ifade etmek sistemi daha gerçekçi olarak ifade etmeye yaramaktadır (Xu ve Tang, 2002). Hem sayısal veriler hem de kesin olarak ifade edilemeyen dilsel veriler bir arada kullanılabilir (Sharma, 2005).

- HTEA uygulaması yapılırken hesaplamalarda uzman kişilerin ortak değerlendirmeleri değil, her bir uzmanın risk öncelik katsayısının hesaplanmasında kullanılan şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik değerlerine ayrı ayrı dilsel ifadelerle değerlendirme yapılabilmesi mümkün kılınmıştır. Böylece HTEA ekibindeki her bir uzmanın deneyim ve uzmanlık alanları hesaplamalarda etkili olmakta, çalışma sonuçlarının daha gerçekçi boyuta ulaşmasına yardımcı olmaktadır.
- Farklı hata durumları için aynı RÖS değerleri olması durumunda hata etkilerinin de dikkate alınması için her bir risk faktörüne farklı ağırlıklandırmalar yapılmıştır. Çalışma kapsamında bu konu detaylı olarak ele alınmış ve literatür atıfları da verilmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Bulanık mantık yaklaşımı ile HTEA'nın entegre edilmesi ve ağırlıklandırma çalışmaları 1990'lı yıllara dayanmakla birlikte konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde çoğunun 2000'li yıllarda gerçekleştirildiği görülmektedir. Tablo 1.'de HTEA kapsamında yapılan bu entegre çalışmalar ve kullanılan yöntemler verilmiştir.

Tablo 1. Literatür taraması (Literature survey)

Yazar	Başlık	Kullanılan Yöntem	Kullanılan Üyelik Fonksiyonu
Braglia, Frosolini ve Montanari (2003)	Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık TOPSİS Uygulaması	Bulanık TOPSİS	Üçgensel Bulanık Sayı
Song ve ark. (2013)	Entegre ağırlık tabanlı bulanık TOPSİS kullanarak hata modu ve etkileri analizi	Bulanık TOPSİS	Üçgensel Bulanık Sayı
Liu ve ark. (2014)	Kombinasyon Ağırlıklandırma ve Bulanık VİKOR Yöntemini Kullanarak Hata Modu ve Etki Analizi İçin Yeni Bir Yaklaşım	Bulanık AHP ve Bulanık VİKOR	Üçgensel Bulanık Sayı
Tabaraee ve ark. (2017)	Bulanık PROMETHEE Yöntemi Kullanılarak Yatırım Projelerinin Önceliklendirilmesi İçin Santrallerin Değerlendirilmesi	Bulanık PROMETHEE ve TOPSİS	Üçgensel ve Trapezoidal Bulanık Sayı
Ghorabae ve ark. (2018)	Sürdürülebilirlik Hususları İle İnşaat Ekipmanlarının Değerlendirilmesi İçin Yeni Bir Hibrit Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı	Bulanık SWARA, CRITIC	Üçgensel Bulanık Sayı
Zarbakshshnia ve ark. (2018)	Bulanık SWARA Kullanılarak Sürdürülebilir Üçüncü Taraf Tersine Lojistik Sağlayıcı Değerlendirmesi ve Seçimi ve Geliştirilmiş Bulanık COPRAS ile Risk Kriterlerinin Varlığının Tespiti	Bulanık SWARA ve Bulanık COPRAS	Üçgensel Bulanık Sayı
Akcan ve Taş (2019)	Ekolojik Risk Faktörlerini Azaltmak İçin SWARA-TOPSİS Entegre Yöntemiyle Yeşil Tedarikçi Değerlendirmesi	Entegre SWARA ve TOPSİS	-
Koulinas ve ark. (2019)	Bulanık Analitik Hiyerarşi Sürecini ve Nicel Bir Tekniği Kullanarak Şantiyelerde Risk Analizi ve Değerlendirmesi - Yunan İnşaat Sektörü İçin Bir Vaka Çalışması	Bulanık Genişletilmiş Analitik Hiyerarşi Yöntemi	Üçgensel Bulanık Sayı
Liu (2019)	Bulut Modeli ve PROMETHEE Yöntemi Kullanılarak HTEA Çalışması ve Acil Servis Uygulanması	PROMETHEE	-
Mete ve ark. (2019)	Bir Doğal Gaz Boru Hattı İnşaatının Mesleki Risk Değerlendirmesi İçin Pisagor Bulanık VİKOR'a Dayalı Bir Karar Destek Sistemi	Pisagor Bulanık VİKOR	Pisagor Bulanık Sayı
Zhang ve ark. (2019)	Jeotermal Enerji Santralindeki Ekipman Arızaları İçin Genişletilmiş Bir PROMETHEE-II Tabanlı Risk Önceliklendirme Yöntemi	PROMETHEE-II	-
Bhalaji ve ark. (2020)	Yeşil Üretimdeki Risk Faktörlerini Analiz Etmek İçin Bir Bulanık PROMETHEE Çalışması	PROMETHEE ve Pişmanlık Teorisi (Regret Theory)	Üçgensel Bulanık Sayı
Ghandi ve Roozbahani (2020)	Bulanık PROMETHEE Tekniği Kullanılarak Kritik Koşullarda İçme Suyu Temininin Risk Yönetimi	Bulanık PROMETHEE	Üçgensel Bulanık Sayı
Jafarzadeh Ghouschi ve ark. (2020)	Güneş Paneli Sistemlerindeki Arızaların Önceliklendirilmesi İçin SWARA ve GİA Yöntemlerine Dayalı Entegre Karar Verme Yaklaşımı	SWARA ve Gri İlişki Analizi	Üçgensel Bulanık Sayı

Khalilzadeh ve ark. (2020)	Sağlık ve Güvenlik Yönetici Riskleri İçin Doğrusal Programlama Yaklaşımıyla Bütünleşen Hibrit Bulanık ÇKKV ve HTEA: Bir Vaka Çalışması	Bulanık SWARA, PROMETHEE	Üçgensel Bulanık Sayı
Rezaee ve ark. (2020)	Dilsel FMEA ve Bulanık Çıkarım Sistemi Bütünleştiren Kimya Endüstrisinde Sağlık, Güvenlik ve Çevre Risk Analizi	Bulanık PROMETHEE	Üçgensel Bulanık Sayı
Zhu ve ark. (2020)	Dilsel Nötrozofik Bağlamda Pişmanlık Teorisi ve PROMETHEE Kullanılarak Hata Türü ve Etki Analizi	Bulanık PROMETHEE ve Pişmanlık Teorisi	Üçgensel Bulanık Sayı
Poyraz (2021)	Tedarik zinciri risk yönetiminde süreç aşamalı bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile hata analizi	Bulanık SWARA ve COPRAS	Üçgensel Bulanık Sayı

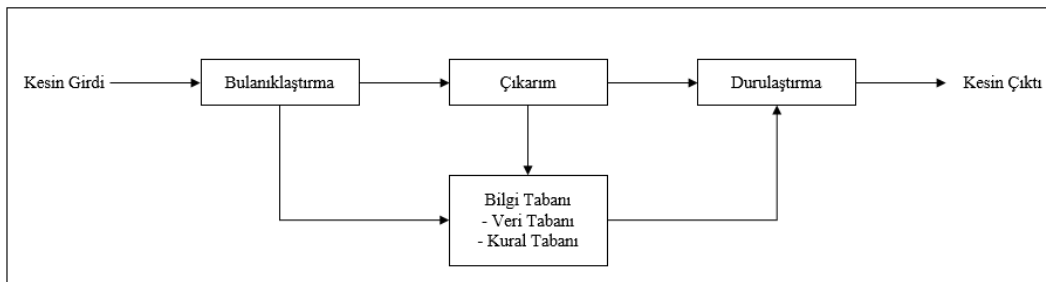
Yapılan literatür çalışmasında da görüleceği üzere HTEA'nın kısıtlamalarına yönelik özellikle son yıllarda birçok çalışma yapılmış ve özellikle bulanık uygulama ve çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanılmıştır. Çalışmaların bir bölümünde birden fazla yöntem kullanılmış ve karşılaştırılmışken, bir kısmında tek yöntem üzerinde uygulama sonuçları tartışılmıştır. Bu makale kapsamında da HTEA'nın ilk bölümde belirtilen kısıtlamalarına çözüm sağlayabilmek amacıyla karar vericilerin görüşlerini daha iyi yansıtan ve her bir risk faktörünün dikkate alındığı Bulanık Swara-HTEA entegre modeli önerilmiştir. Tablo 1.'de de görüleceği üzere bu alanda yapılan birçok çalışma mevcut olup, otomotiv sektöründe Bulanık Swara yönteminin kullanıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Çalışma kapsamında Bulanık Swara yönteminin kullanılma sebebinin ilki, Swara yönteminin uzman odaklı yöntem şeklinde tanımlanmasıdır. İkincisi Swara yöntemi, direkt olarak kriterler ve kriterlerin öncelikleri için karar verebildiğinden kriter ağırlıklarının bilindiği problemlerde de kullanılabilir. HTEA kapsamında her bir risk faktörüne ait ağırlığın önceden karar vericiler tarafından verilebilmesi tercih sebebi olmuştur. Özellikle otomotiv sektöründe sıfır hata stratejisi kapsamında, hataların önceden tespiti ve önlenmesi temelli HTEA çalışmalarının önemi yadsınamazdır. Bu bağlamda yapılan bu makale ile birlikte otomotiv sektörü alanında bir ilk olarak Bulanık Swara yöntemi entegreli HTEA uygulaması gerçekleştirilmiştir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışma kapsamında otomotiv yan sanayii sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın en çok üretilen ürünlerinden biri olan moleküler burçların müşteri şikayeti verileri için beş farklı karar vericinin her bir risk faktörüne ilişkin değerlendirmeleri alınmak suretiyle Bulanık HTEA çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında her bir hata türüne ilişkin Bulanık SWARA yöntemi ile risk faktörlerinin ağırlıklandırılması yapılmış ve hem Bulanık HTEA hem de Bulanık SWARA ile entegre bir çalışma oluşturulmuştur.

3.1. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

Günümüzde problemlerin çözümünde birçok farklı yöntem kullanılmakta iken, bu yöntemlerin bazıları sayısal bilgiler ile çözüm üretirken bazıları ise sözel bilgiler ile çözüm üretmektedir. İşletmelerde problemlerin kesin rakamlarla ifade edilmesi her durumda mümkün olmamakta ve belirsiz-kesin olmayan bilgiler bulunmaktadır. Bulanık mantık birçok problemde olan belirsizlikleri matematiksel olarak modelleyen ve çözüm sağlamak için araçlar geliştiren metodoloji olarak tanımlanmaktadır (Chen ve ark., 2008). Bulanık mantık kavramındaki sözcüklerde "bulanık" tanımlaması ilk defa Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmış olup, belirsiz ve kesin olmayan anlamında kullanılmıştır. "Mantık" tanımlaması ise düşünmek, çıkarımlar yapmak anlamında kullanılmıştır (Baykal ve Beyan, 2004). Bulanık mantığın temel amacı herhangi bir problemde tam ve kesin olmayan bilgiler olduğunda, geliştirdiği yöntemlerle işletmelere tam ve kesin bilgiler sağlayabilmektir. Bir bulanık sistemin genel adımları Şekil 1'de verilmekte olup her bir adım aşağıda sırayla açıklanmaktadır.

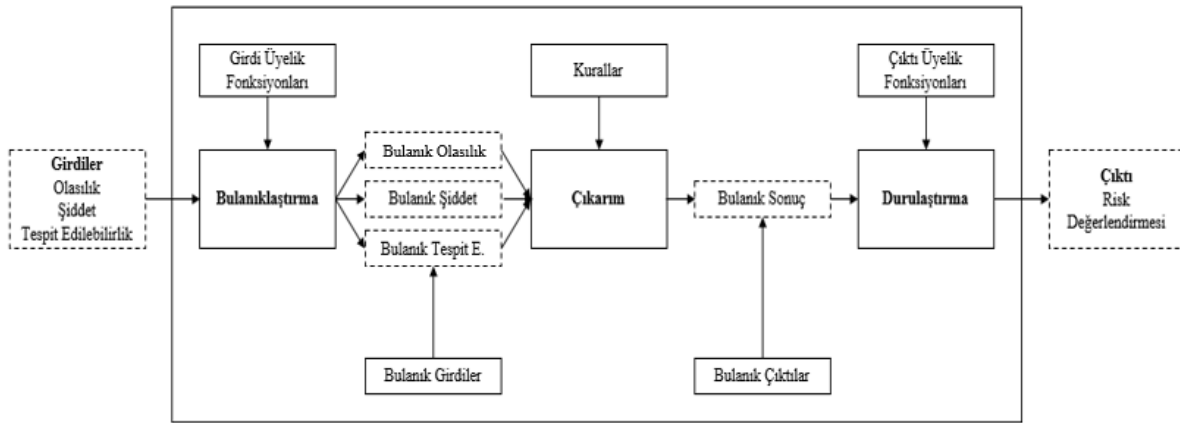


Şekil 1. Bulanık sistemin adımları (Steps of fuzzy system) (Pillay ve Wang, 2003)

- **Bulanıklaştırma:** Bir sistemden alınan kesin bilgilerin dilsel bilgilere dönüştürülmesi adıdır. Bu süreçte ilk olarak girilen bilgilerin alabileceği değer aralıkları belirlenir. Sonrasında ise bu değer aralıklarından oluşan sistem uzayında girilen veriler dilsel değişkenlere dönüştürülerek bir diğer adıma aktarılmak üzere bulanık veriler hazırlanmış olur.
- **Çıkarımlar (Kural Tabanı):** Kesin veriler bulanıklaştırıldıktan sonra sistemin yapısına uygun kural tabanı belirlenmelidir. Bu kural tabanında ise “eğer - o halde” olarak ifade edilen durumları sürekli bir fonksiyon olarak belirleyen cümleler kullanılmaktadır (Ross, 1995; Terano ve ark., 1987; Zimmermann, 1996). Bulanık çıkarım mekanizmaları Zadeh tarafından önerilen bileşimsel kurallara dayanmaktadır. Bu kurallar yardımıyla girdi değişkenlerinden ve kurallardan oluşan bir çıktı bulanık kümesi elde edilir. Bulanık mantık yaklaşımlarında en çok kullanılan yöntemler Mamdani çıkarımı (max-min veya min-max) ve Takagi-Sugeno çıkarımıdır.
- **Durulaştırma:** Önceki adımlarda bulanıklaştırılan verilerin kesin değerlere çevrilmesi işlemidir. Bunun nedeni işletmelerde ve gerçek sistemlerde verilerin kullanılabilmesi için kesin değerlerin olması gereklidir.

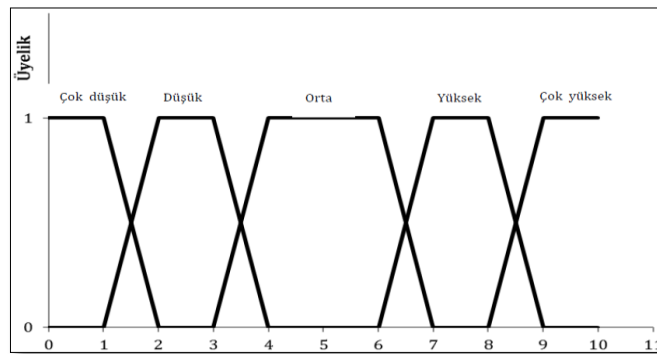
3.2. Bulanık HTEA Metodolojisi (Fuzzy FMEA Methodology)

Bulanık HTEA çalışmaları Şekil 2’ de gösterilen adımlarla gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2. Bulanık HTEA metodolojisi adımları (Fuzzy FMEA methodology steps) (Pillay ve Wang, 2003)

Bulanık HTEA’ nın geleneksel HTEA’ dan farklı yanı girdilerin bulanıklaştırılarak çözüme alınmasıdır. İlk adımda hatalara ait verilerin sayısal olarak ifade edilmesi zorluğundan kaynaklı bulanık mantık yardımıyla her faktöre ilişkin bulanık fonksiyonları tanımlanmaktadır. Sonrasında ise oluşturulan kural tabanları ile tek tek çıkarımlar yapılarak bulanık sonuçlar elde edilmektedir. Son adım olarak da bulanıklaştırılan veriler kesin sayısal sonuçlara çevrilmekte ve çıktı olarak verilmektedir. Bulanık HTEA’ nın ilk adımı olan verilerin bulanıklaştırılmasında Şekil 3’ de verilen grafiksel üyelik fonksiyon tanımlamaları kullanılmaktadır.



Şekil 3. Bulanık mantık yapısında üyelik fonksiyon tanımlamaları (Membership function definitions in fuzzy logic structure) (Klir ve Yuan, 1995)

Buradaki üyelik fonksiyon tanımlamalarının Bulanık HTEA’ daki olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik kavramlarına karşılığı Tablo 2’de gösterilmiştir (Klir ve Yuan, 1995).

Tablo 2. Bulanık üyelik fonksiyonlarının dilsel ifadelerinin anlamları
(Meanings of linguistic expressions of fuzzy membership functions)

Tanımlayıcı terim	Puan	Hata Olasılığı	Şiddet	Tespit Edilebilirlik
Çok düşük	1	Bu hataların bir kez gözlemlenmesi pek olası değildir.	Sistem performansı üzerinde bir etkisi olmayan bir arıza.	Başarısızlığın gözlemlenmesi fark edildiği durumdur.
Düşük	2 - 3	Muhtemelen bir kez gerçekleşir ancak daha sık meydana gelmez.	Operatöre biraz rahatsızlık verecek bir arıza, ancak bunun sebep olacağı bir arıza.	Muayene veya test gerçekleştirilene kadar arıza tespit edilmemiştir.
Orta	4 - 6	Birden fazla gerçekleşmesi muhtemel.	Yüksek derecede kullanıcı memnuniyetsizliğine neden olan bir arıza.	Arıza, sistem performansı etkilenene kadar fark edilmeden kalır.
Yüksek	7 - 8	En az bir kez gerçekleşmesi kesin.	Sistem performansının bozulmasına veya düşmesine neden olan bir arıza.	Sistem performansı ciddi olarak azalana kadar hata tespit edilmemiştir.
Çok yüksek	9 - 10	Birkaç kez gerçekleşmesi kesin.	Ciddi yaralanmalara ve ölüme neden olan ciddi bir durum.	Sistem performansı tamamen bozulana kadar hata tespit edilmemiştir.

Bu tanımlamalardan da görüleceği üzere temel olarak geleneksel HTEA ve Bulanık HTEA arasında değerlendirmelerde sayısal ifadelerle değil de, sözel ifadelerin girdi olarak alınarak sonrasında sayısal olasılıklara dönüştürülmesi farkı mevcuttur.

Hata türlerinin sıralanması için kullanılan bu dilsel değişkenlere Liu ve ark. (2014) üçgensel bulanık sayı değerleri vermiştir (Tablo 3). Literatürde birçok araştırmacı bu üçgensel bulanık sayı değerleri ile birlikte hata türlerinin dilsel değişkenlerine değerler atamıştır (Sharma,2005).

Tablo 3. Hata türlerinin sıralanmasında dilsel değişkenler (Linguistic variables in ordering error types)

Dilsel Değişken	Üçgensel Bulanık Sayı
Çok düşük (ÇD)	(0, 1, 3)
Düşük (D)	(1, 3, 5)
Orta (O)	(3, 5, 7)
Yüksek (Y)	(5, 7, 9)
Çok Yüksek (ÇY)	(7, 9, 10)

Yapılan bulanıklaştırma işleminden sonraki adım verilerin bir çıkarım-kural sistematiği ile incelenmesi adıdır. Bu adımda geleneksel HTEA yönteminde olduğu üzere verilen dilsel değişkenler her biri kendi grubunda olmak üzere çarpım işlemine tabii tutulmaktadır. Bu aşamada oluşturulan yeni RÖS değerleri bulanık veri kümesi şeklindedir. Bu aşamayı verilerin durulaştırılarak kesin değerlere dönüştürülmesi adımı takip etmektedir. Literatürde en çok incelenen yöntem Opricovic (2011) tarafından öngörülen VIKOR yaklaşımıdır. VIKOR yöntemi çok kriterli sistemlerin en iyilenmesinde kullanılan ve sistemdeki karar verici mekanizmaya yardımcı olan çözümler üreten bir yöntem olup, Chu ve ark. (2007)'e göre ideal çözüme en yakın çözümü vermektedir. Bu yöntemde bulanık \tilde{a} değeri a_1 , a_2 ve a_3 değerlerinden oluşmakta iken; bu değeri kesinleştirmede aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

$$\tilde{a} = \frac{a_1 + 4a_2 + a_3}{6} \quad (2)$$

Oluşturulan bu kural sistematiği ile tüm değerlerle veriler kesin sayılara dönüştürülmekte ve sisteme dahil edilmektedir.

3.3. Bulanık SWARA (Fuzzy SWARA)

Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (Step Wise Weight Assessment Ratio Analysis) kelimesinin İngilizce baş harflerinden oluşan SWARA Yöntemi, ilk olarak Kersulienė, Zavadskas ve Turskis tarafından 2010 yılında geliştirilmiş bir ağırlıklandırma yöntemidir. Yöntemin temel özelliği kriter ağırlıklarını oluştururken karar vericilerin görüşlerini temel almasıdır. Bu yöntem diğer kriter ağırlıklandırma yöntemlerine göre daha az sayıda ikili karşılaştırma yapması sebebiyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Yöntemin sağladığı bir diğer avantaj ise Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi gibi 1-9 ölçeği kullanmasına gerek duyulmadan karar vericiye rahatlıkla değerlendirme yapabildiği imkanı sunmasıdır (Stanujkic ve arkadaşları, 2015).

Bulanık SWARA yöntemi ise kriterleri değerlendirirken kesin ifadeler kullanmak yerine bulanık sayıların kullanılmasını temel alan geliştirilmiş bir yöntemdir. Bulanık mantık ile entegre edilmiş Bulanık SWARA yöntemi, karar vericilerin değerlendirme sürecini daha verimli ve gerçekçi şekilde sürdürmesine imkan vermektedir.

Bulanık SWARA yönteminin adımlarını şu şekilde sıralamak mümkündür (Sumrit, 2020):

1. Karar problemi tarafından belirlenmiş olan her bir değerlendirme kriteri "j" karar vericiler tarafından önem düzeylerine göre (En yüksek önem düzeyinden en düşük önem düzeyine doğru) sıralanmaktadır.
2. Tablo 3'de belirtilen dilsel değişkenler kullanılarak "j" kriterinin kendisinden daha yüksek önem düzeyine sahip "j-1" kriterine göre kıyaslaması yapılarak "görelî önem düzeyleri" hesaplanır. Bu değer "S_j" olarak ifade edilir.

$$(S_j = S_j^l, S_j^m, S_j^u) \quad (l=\text{lower}, m=\text{middle}, u=\text{upper}) \quad (3)$$

3. Tüm kriterler için "C_j" olarak ifade edilen katsayı değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$C_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ S_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (C_j = C_j^l, C_j^m, C_j^u) \quad (4)$$

4. Tüm kriterler için "ara ağırlık değeri" ya da "önem vektörü" olarak ifade edilen "Q_j" değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$Q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{Q_{j-1}}{C_j} & j > 1 \end{cases} \quad (Q_j = Q_j^l, Q_j^m, Q_j^u) \quad (5)$$

5. Her bir kriter için "görelî önem ağırlığı" ya da olarak ifade edilen " \bar{W}_j " değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\bar{W}_j = \frac{Q_j}{\sum_{k=1}^n Q_k} \quad (6)$$

Beşinci adımdaki \bar{W}_j değeri j. inci kriterin bulanık ifade ile önemini göstermektedir.

6. Son adımda tüm kriterler için hesaplanan ağırlık değerleri Kiani ve arkadaşları (2017) tarafından da kullanılmış olan aşağıdaki eşitlikle durulaştırılmaktadır.

$$W_j = \frac{(w_j^u - w_j^l) + (w_j^m - w_j^l)}{3} + (w_j^l) \quad (7)$$

Hesaplamalar yapılırken bulanık mantık kapsamında tüm ifadeler üçgensel bulanık sayılar ile $l1 \leq m1 \leq u1$ olacak şekilde A1= (l1, m1, u1) şeklinde gösterilmektedir.

4. Uygulama (Implementation)

Çalışmanın uygulama kısmı Samsun'da faaliyet gösteren Otomotiv Yan Sanayii Sektöründe faaliyet gösteren bir firma için yapılmıştır. Firma 1994 yılından bu yana birçok ağır vasıta, çekici ve dorse markalarının yedek parça ihtiyacını sağlamaktadır. 80.000 m²'lik entegre fabrika kampüsü ile hizmetlerine devam eden firmada yaklaşık 15.000 çeşit ürün üretimi yapılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında firmanın en çok üretilen kalemlerinden birisi olan moleküler burçlarla ilgili müşteri şikayetlerine yönelik Bulanık SWARA ile bütünleşik Bulanık HTEA uygulaması gerçekleştirilmiştir. Müşteri şikayetleri "Hamur Üretimindeki Uygunuzluk (HT1)", "Kauçuk-Metal Birlikteliğinin Sağlanamaması (HT2)", "Kullanım Kolaylığı Sağlanmaması (HT3)" ve "Montaj Prosesi Hatası (HT4)" olmak üzere 4 hata türüne işaret etmiş ve bu hata türleri için 18 adet hata nedenleri belirlenmiştir. Özellikle prosesin işlem basamaklarında yer alan üretim şefleri ve kalite sorumlularından yer alan, 5 farklı alanında uzman Karar Vericiden(KV) oluşan HTEA ekibi tarafından moleküler burçla ilgili tespit edilen hata nedenleri için şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik değerleri bulanık ifadelerle oluşturulmuş ve Tablo 4'deki gibi sunulmuştur.

Karar vericilerin tanımlamalarının ardından Bulanık HTEA kapsamında her bir risk faktörü için görelî değerler hesaplanmış ve bulanık çalışmanın son adımı olan durulaştırma işlemi yapılmıştır. Böylece 5 farklı karar vericinin dilsel olarak değerlendirmeleri kapsamında Bulanık HTEA tablosu Tablo 5'deki gibi oluşturulmuştur.

Oluşturulan Bulanık HTEA değerlerinde her bir risk faktörü için ağırlıklandırma işlemi adımı Bulanık SWARA ile entegre edilerek geleneksel yöntemin eşit kriter ağırlığı zayıflığı ortadan kaldırılmıştır. Bulanık SWARA ile birlikte her bir hata nedeni için risk faktörlerine ait ağırlık değerleri Tablo 6'daki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 4. Hata nedenlerinin şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik değerleri
(Severity, probability and detectability values of error causes)

Hata Türleri	Hata Nedenleri	Şiddet					Olasılık					Tespit Edilebilirlik				
		KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
Hamur Üretimindeki Uygunsuzluk (HT1)	Vulkanizasyon Süresi Yönetilememesi (HN1)	O	O	ÇY	ÇY	Y	D	D	O	D	D	D	O	O	D	D
	Hamurun Dinamik Akışkanlık Değeri Sağlanamaması (HN2)	D	D	O	D	D	O	O	O	O	O	D	D	D	D	D
	Hamurun Elastik Akışkanlık Değeri Sağlanamaması (HN3)	O	O	D	D	D	O	O	D	O	O	D	D	D	ÇD	D
	Hamurun Mooney Değeri Sağlanamaması (HN4)	O	D	O	D	D	O	O	D	O	ÇD	D	D	D	D	D
Kauçuk-Metal Birlikteliğinin Sağlanmaması (HT2)	Boya Kalınlığının Az Olması (HN5)	Y	ÇY	O	Y	Y	O	D	D	O	D	O	D	D	O	D
	Yetersiz Kum Miktarı (HN6)	Y	Y	Y	Y	Y	D	D	O	Y	D	D	O	O	D	D
	Hatalı Kumlama Süresi (HN7)	Y	ÇY	O	Y	Y	D	D	D	D	D	D	D	D	ÇY	O
	Viskozite Uygunsuzluğu (HN8)	Y	Y	O	ÇY	Y	D	O	O	D	D	D	D	O	D	D
	Yetersiz Solvent Miktarı (HN9)	Y	Y	Y	ÇY	O	Y	O	O	D	D	D	D	O	Y	ÇD
	Solvent Sıcaklığının Fazla Olması (HN10)	O	Y	Y	Y	Y	O	O	Y	Y	D	D	D	O	D	D
Kullanım Kolaylığı Sağlanmaması (HT3)	Bilezik Talashi İmalat Personel Hatası (HN11)	O	O	O	O	O	O	D	O	D	D	D	Y	O	Y	O
	Bilezik Talashi İmalat Makine Hatası (HN12)	O	D	Y	D	O	O	D	D	D	D	D	Y	ÇY	Y	ÇD
	Tedarikçi Uygunsuz Ürün Gönderimi (HN13)	ÇD	D	Y	O	O	D	D	D	D	O	O	Y	ÇD	O	O
	Kalıp İçi Dizilim Hatası (HN14)	O	O	O	O	D	D	O	D	O	O	Y	ÇD	D	O	O
Montaj Prosesi Hataları (HT4)	GKK'dan Yanlış Segman Kabulü (HN15)	ÇY	Y	Y	Y	Y	D	D	O	O	D	D	O	O	D	
	Burç Talashi İmalat Personel Hatası (HN16)	O	O	Y	O	D	O	D	O	D	D	D	D	D	D	O
	Burç Talashi İmalat Makine Hatası (HN17)	O	O	O	D	D	D	D	Y	D	D	O	O	D	D	Y
	Proses Parametrelerinin Hatalı Olması (HN18)	D	O	O	D	O	O	D	D	Y	O	D	D	O	O	O

Tablo 5. Bulanık HTEA (fuzzy FMEA)

Hata Nedenleri	Görelî Değerler									Durulaştırılmış Değerler		
	Şiddet			Olasılık			Tespit Edilebilirlik			Şiddet	Olasılık	Tespit Edilebilirlik
HN1	5,0	7,0	8,6	1,4	3,4	5,4	1,8	3,8	5,8	6,93	3,40	3,80
HN2	1,4	3,4	5,4	3,0	5,0	7,0	1,0	3,0	5,0	3,40	5,00	3,00
HN3	1,8	3,8	5,8	2,6	4,6	6,6	0,8	2,6	4,6	3,80	4,60	2,63
HN4	1,8	3,8	5,8	2,0	3,8	5,8	1,0	3,0	5,0	3,80	3,83	3,00
HN5	5,0	7,0	8,8	1,8	3,8	5,8	1,8	3,8	5,8	6,97	3,80	3,80
HN6	5,0	7,0	9,0	2,2	4,2	6,2	1,8	3,8	5,8	7,00	4,20	3,80
HN7	5,0	7,0	8,8	1,0	3,0	5,0	2,6	4,6	6,4	6,97	3,00	4,57
HN8	5,0	7,0	8,8	1,8	3,8	5,8	1,4	3,4	5,4	6,97	3,80	3,40
HN9	5,0	7,0	8,8	2,6	4,6	6,6	2,0	3,8	5,8	6,97	4,60	3,83
HN10	4,6	6,6	8,6	3,4	5,4	7,4	1,4	3,4	5,4	6,60	5,40	3,40
HN11	3,0	5,0	7,0	1,8	3,8	5,8	3,4	5,4	7,4	5,00	3,80	5,40
HN12	2,6	4,6	6,6	1,4	3,4	5,4	3,6	5,4	7,2	4,60	3,40	5,40
HN13	2,4	4,2	6,2	1,4	3,4	5,4	2,8	4,6	6,6	4,23	3,40	4,63
HN14	2,6	4,6	6,6	2,2	4,2	6,2	2,4	4,2	6,2	4,60	4,20	4,23
HN15	5,4	7,4	9,2	1,8	3,8	5,8	1,8	3,8	5,8	7,37	3,80	3,80
HN16	3,0	5,0	7,0	1,8	3,8	5,8	1,4	3,4	5,4	5,00	3,80	3,40
HN17	2,2	4,2	6,2	1,8	3,8	5,8	2,6	4,6	6,6	4,20	3,80	4,60
HN18	2,2	4,2	6,2	2,6	4,6	6,6	2,2	4,2	6,2	4,20	4,60	4,20

Tablo 6. Bulanık SWARA (Fuzzy SWARA)

Hata Nedeni	Risk Faktörü	Görelî			Sj			Cj			Qj			W'j			Wj
HN1	Ş	5,0	7,0	8,6				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,71	0,71	0,69	0,70
	T	1,8	3,8	5,8	3,2	3,2	2,8	4,2	4,2	3,8	0,24	0,24	0,26	0,17	0,17	0,18	0,17
	O	1,4	3,4	5,4	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,17	0,17	0,19	0,12	0,12	0,13	0,12
HN2	O	3,0	5,0	7,0				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	0,6	0,60
	Ş	1,4	3,4	5,4	1,6	1,6	1,6	2,6	2,6	2,6	0,4	0,4	0,4	0,23	0,23	0,23	0,23
	T	1,0	3,0	5,0	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,27	0,27	0,27	0,17	0,17	0,17	0,17
HN3	O	2,6	4,6	6,6				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,55	0,55	0,55	0,55
	Ş	1,8	3,8	5,8	0,8	0,8	0,8	1,8	1,8	1,8	0,6	0,6	0,6	0,3	0,31	0,31	0,31
	T	0,8	2,6	4,6	1	1,2	1,2	2	2,2	2,2	0,28	0,25	0,25	0,15	0,14	0,14	0,14
HN4	O	2,0	3,8	5,8				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,44	0,39	0,39	0,41
	Ş	1,8	3,8	5,8	0,2	0	0	1,2	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,36	0,39	0,39	0,38
	T	1,0	3,0	5,0	0,8	0,8	0,8	1,8	1,8	1,8	0,46	0,56	0,56	0,2	0,22	0,22	0,21
HN5	Ş	5,0	7,0	8,8				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7	0,67
	O	1,8	3,8	5,8	3,2	3,2	3,0	4,2	4,2	4,0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,16
	T	1,8	3,8	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,17
HN6	Ş	5,0	7,0	9,0				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7	0,69
	O	2,2	4,2	6,2	2,8	2,8	2,8	3,8	3,8	3,8	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,18
	T	1,8	3,8	5,8	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,13
HN7	Ş	5,0	7,0	8,8				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7	0,71
	T	2,6	4,6	6,4	2,4	2,4	2,4	3,4	3,4	3,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,21
	O	1,0	3,0	5,0	1,6	1,6	1,4	2,6	2,6	2,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,08
HN8	Ş	5,0	7,0	8,8				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,71	0,71	0,7	0,71
	O	1,8	3,8	5,8	3,2	3,2	3,0	4,2	4,2	4,0	0,24	0,24	0,25	0,17	0,17	0,18	0,17
	T	1,4	3,4	5,4	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,17	0,17	0,18	0,12	0,12	0,13	0,12
HN9	Ş	5,0	7,0	8,8				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,68	0,69	0,67	0,68
	O	2,6	4,6	6,6	2,4	2,4	2,2	3,4	3,4	3,2	0,29	0,29	0,31	0,2	0,2	0,21	0,20
	T	2,0	3,8	5,8	0,6	0,8	0,8	1,6	1,8	1,8	0,18	0,16	0,17	0,12	0,11	0,12	0,12
HN10	Ş	4,6	6,6	8,6				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,62	0,62	0,62	0,62
	O	3,4	5,4	7,4	1,2	1,2	1,2	2,2	2,2	2,2	0,45	0,45	0,45	0,28	0,28	0,28	0,28
	T	1,4	3,4	5,4	2	2	2	3	3	3	0,15	0,15	0,15	0,09	0,09	0,09	0,09
HN11	T	3,4	5,4	7,4				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,49	0,49	0,49	0,49
	Ş	3,0	5,0	7,0	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,7	0,7	0,7	0,35	0,35	0,35	0,35
	O	1,8	3,8	5,8	1,2	1,2	1,2	2,2	2,2	2,2	0,32	0,32	0,32	0,16	0,16	0,16	0,16
HN12	T	3,6	5,4	7,2				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,58	0,55	0,52	0,55
	Ş	2,6	4,6	6,6	1	0,8	0,6	2,0	1,8	1,6	0,5	0,6	0,6	0,29	0,31	0,33	0,31
	O	1,4	3,4	5,4	1,2	1,2	1,2	2,2	2,2	2,2	0,23	0,25	0,28	0,13	0,14	0,15	0,14
HN13	T	2,8	4,6	6,6				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,48	0,47	0,47	0,48
	Ş	2,4	4,2	6,2	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,7	0,7	0,7	0,34	0,34	0,34	0,34
	O	1,4	3,4	5,4	1	0,8	0,8	2	1,8	1,8	0,36	0,4	0,4	0,17	0,19	0,19	0,18
HN14	Ş	2,6	4,6	6,6				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4	0,41	0,41	0,41
	T	2,4	4,2	6,2	0,2	0,4	0,4	1,2	1,4	1,4	0,83	0,71	0,71	0,33	0,29	0,29	0,31
	O	2,2	4,2	6,2	0,2	0	0	1,2	1	1	0,69	0,71	0,71	0,27	0,29	0,29	0,29
HN15	Ş	5,0	7,0	8,8				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7	0,67
	O	1,8	3,8	5,8	3,2	3,2	3,0	4,2	4,2	4,0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,16
	T	1,8	3,8	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,17
HN16	Ş	3,0	5,0	7,0				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,56	0,56	0,56	0,56
	O	1,8	3,8	5,8	1,2	1,2	1,2	2,2	2,2	2,2	0,45	0,45	0,45	0,26	0,26	0,26	0,26
	T	1,4	3,4	5,4	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,32	0,32	0,32	0,18	0,18	0,18	0,18
HN17	T	2,6	4,6	6,6				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,45	0,45	0,45	0,45
	Ş	2,2	4,2	6,2	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,7	0,7	0,7	0,32	0,32	0,32	0,32
	O	1,8	3,8	5,8	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,51	0,51	0,51	0,23	0,23	0,23	0,23
HN18	O	2,6	4,6	6,6				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,41	0,41	0,41	0,41
	Ş	2,2	4,2	6,2	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,7	0,7	0,7	0,29	0,29	0,29	0,29
	T	2,2	4,2	6,2	0	0	0	1	1	1	0,71	0,71	0,71	0,29	0,29	0,29	0,29

Şiddet: Ş Olasılık: O Tespit Edilebilirlik: T

Yapılan hesaplamalar sonucunda Bulanık HTEA ile Bulanık SWARA verileri elde edildikten sonra, her bir hata nedeni için hesaplanan göreceli risk faktörleri ile ağırlıkları Xiau ve ark. (2011) tarafından önerilen aşağıdaki denklem ile geliştirilmiş HTEA çalışması Tablo 7'deki gibi oluşturulmuştur.

$$RÖS = (w_s * Şiddet) \times (w_o * Olasılık) \times (w_t * Tespit Edilebilirlik) \quad (8)$$

Hesaplama yapılırken bulanık sayıların çarpılmasında bulanık işlem yöntemleri kullanılmış olup, üçgenel bulanık sayı kapsamında her hesaplama kendi seviyesinde yapılmıştır.

Tablo 7. Önerilen HTEA (Suggested FMEA)

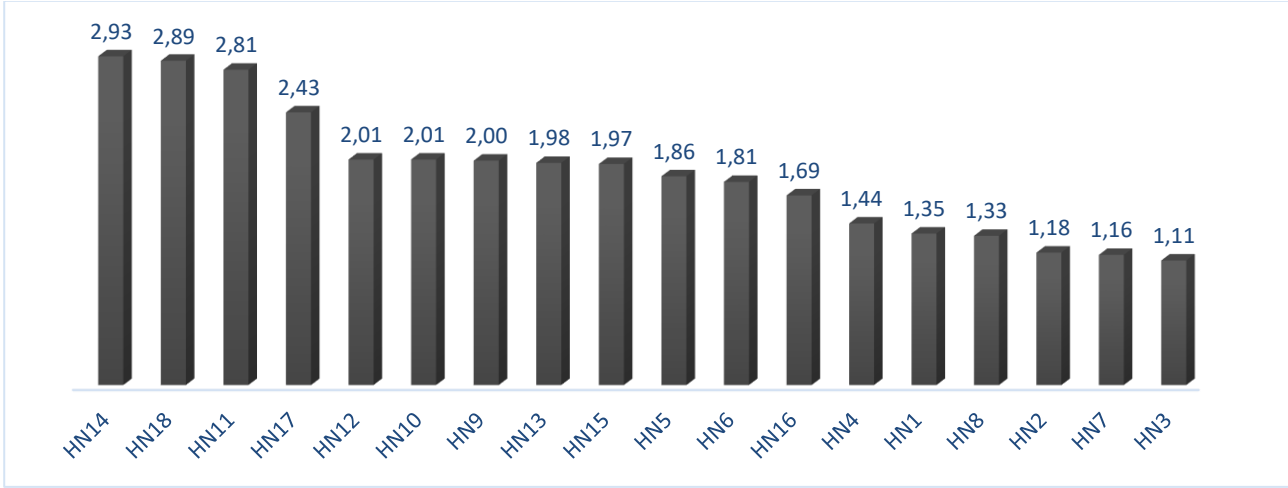
Hata Nedenleri	Bulanık HTEA			Bulanık SWARA Ağırlıklar			Geliştirilmiş RÖS Değerleri
	Şiddet	Olasılık	Tespit Edilebilirlik	Şiddet	Olasılık	Tespit Edilebilirlik	
HN1	6,93	3,40	3,80	0,70	0,12	0,17	1,35
HN2	3,40	5,00	3,00	0,23	0,60	0,17	1,18
HN3	3,80	4,60	2,63	0,31	0,55	0,14	1,11
HN4	3,80	3,83	3,00	0,38	0,41	0,21	1,44
HN5	6,97	3,80	3,80	0,67	0,16	0,17	1,86
HN6	7,00	4,20	3,80	0,69	0,18	0,13	1,81
HN7	6,97	3,00	4,57	0,71	0,08	0,21	1,16
HN8	6,97	3,80	3,40	0,71	0,17	0,12	1,33
HN9	6,97	4,60	3,83	0,68	0,20	0,12	2,00
HN10	6,60	5,40	3,40	0,62	0,28	0,09	2,01
HN11	5,00	3,80	5,40	0,35	0,16	0,49	2,81
HN12	4,60	3,40	5,40	0,31	0,14	0,55	2,01
HN13	4,23	3,40	4,63	0,34	0,18	0,48	1,98
HN14	4,60	4,20	4,23	0,41	0,29	0,31	2,93
HN15	7,37	3,80	3,80	0,67	0,16	0,17	1,97
HN16	5,00	3,80	3,40	0,56	0,26	0,18	1,69
HN17	4,20	3,80	4,60	0,32	0,23	0,45	2,43
HN18	4,20	4,60	4,20	0,29	0,41	0,29	2,89

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen geliştirilmiş Risk Öncelik Katsayı (RÖS) değerleri, HTEA ekibindeki tüm uzman karar vericiler her bir hata türü ve risk faktörlerinin tek tek değerlendirmesi alınarak oluşturulmuştur. Ayrıca her bir risk faktörü için de ağırlık değerleri Bulanık SWARA yöntemi ile yine uzman karar vericiler tarafından hesaplanmış ve RÖS hesaplamasına dahil edilmiştir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Günümüz şartlarında işletmelerde risklerin oluşmadan engellenmesi ve güvenilirliğin oluşturulması fazlasıyla önem arz etmektedir. Geçmiş yıllardaki çalışmalardan bugüne dek çıktı ve performans güvenilirliğinin artırılması için birçok çalışma yapılmış ve yöntemler ortaya konulmuştur. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) bu yöntemlerden biri olup, günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak uygulanan Geleneksel HTEA yaklaşımında hata türlerini sınıflandırmak için risk öncelik sayıları kullanılmaktadır. Bu öncelik sayılarının hepsine eşit önem verilmekte, karar vericilerin tek tek değerlendirmesine imkan sunulmamakta ve sayısal olarak ifade edilirken yaklaşık değerler göz önüne alınmaktadır.

Çalışma kapsamında geleneksel HTEA yönteminin zayıf kalan yanlarına çözüm getirebilmek amacıyla dilsel olarak risk faktörlerine HTEA ekibindeki her bir karar verici tarafından atamalar yapılmıştır. Ardından risk faktörlerine eşit ağırlığın önüne geçilmesi için de kriter ağırlıklandırma çalışmaları kapsamında geliştirilmiş olan Bulanık SWARA yöntemi ile birlikte her bir risk faktörüne ağırlıklandırma yapılmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilmiş olan Bulanık SWARA yöntemi ile entegre edilmiş Bulanık HTEA RÖS değerleri sırasıyla Şekil 4'de belirtilmiştir. Bu kısımda, çalışma kısaca özetlenmeli ve elde edilen sonuçlardan ulaşılan çıkarımlar üzerinde tartışma yapılmalıdır. Çalışmanın gelecek araştırma sorusunun ne/neler olabileceği konusunda fikir belirtilmesi tavsiye edilmektedir.



Şekil 4. Geliştirilmiş RÖS değerleri (Improved RPN values)

Hesaplanan geliştirilmiş RÖS değerleri ile birlikte HTEA ekibi firma yöneticilerine hangi hata nedeni ve türünün öncelikli olarak ele alınması ve çözülmesi gerektiği hakkında bilgilendirme yapabilmektedir. Çalışma sonuçları incelenmiş, HN14 “Kalıp içi dizilim hatası”, HN18 “Proses parametrelerinin hatalı olması” ve HN11 “Bilezik Talaşlı İmalat Personel Hatası” hata nedenleri kapsamında karar vericiler detaylı bir çalışma yaparak sürecin değerlendirilmesi yapılarak üst yönetime sunulmuştur.

Otomotiv sektöründe sıfır hata çalışmalarının sürdüğü günümüzde, müşteri şikayetleri üreticiler için yüksek önem arz etmektedir. Ancak yürüyen iş yükü içerisinde gelen şikayetlerin hangisinin önceliklendirilerek çözülmesi gerekliliği önemli bir husustur. Bu noktada çalışmamız kapsamında geliştirilen Bulanık SWARA entegreli Bulanık HTEA yöntemi ile hangi hata türünün öncelikli olarak çözüme gidilmesi hususunda üreticilere fikir vermektedir. Çalışmanın literatür taramasında da görüleceği üzere ağırlıklandırma çalışmaları kapsamında birçok yöntem kullanılmıştır. Ancak Bulanık Swara yöntemi ile entegreli otomotiv sektöründe yapılan bir çalışma bulunmamaktadır. Bu kapsamda akademik katkısı yüksek bir çalışma olarak görülmektedir. Gelecekteki çalışmalarda, farklı ağırlıklandırma türleri ile RÖS değerleri hesaplanarak karşılaştırmalar yapılabilir. RÖS hesaplamasında sadece üç risk faktörü için hata türleri incelenmeyip, ekonomik koşullar, kalite gibi bazı önemli faktörler de hesaplamalara dahil edilebilir. Ayrıca çalışma kapsamına hata türlerine ilişkin de ağırlıklandırmalar yapılarak, hata nedenleri ağırlıkları ile birlikte global ağırlık ataması yapılabilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma kapsamında örnek uygulama verilerinin sağlanması ve birlikte çalışılması hususunda desteklerini esirgemeyen otomotiv sektöründeki firma ve kalite ekibine desteklerinden dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Akcan, S. and Tas, M.A. (2019), “Green supplier evaluation with SWARA-TOPSIS integrated method to reduce ecological risk factors”, *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 191 No. 12, p. 736.
- Baykal, N ve Beyan, T. (2004), “Bulanık Mantık İlke Ve Temelleri”, Bıçaklar Kitabevi, Ankara.
- Bhalaji, R., Bathrinath, S. and Saravanasankar, S. (2020), “An F-PROMETHEE technique for analysing the risk factors in green manufacturing”, *Management Science and Engineering*, Vol. 764 No. 1, p. 012015.
- Braglia, M., Frosolini, M., & Montanari, R. (2003), “Fuzzy TOPSIS approach for failure mode, effects and criticality analysis”, *Quality and Reliability Engineering International*, 19, 425–443.
- Chen, Z., Feng, K.M., Zhang, G.S., Yuan, T. ve Pan, C.H., (2008), “Preliminary safety research for CH HCSB TBM based on FMEA method”, *Fusion Engineering and Design*, Vol. 83, 743–746.
- Chu M.T., Shyu J., Tzeng G.H. ve Khosla R. (2007), “Comparison Among Three Analytical Methods for Knowledge Communities Group Decision Analysis”, *Expert Systems with Applications*, Vol. 33, No:4, 1011-1024.
- Ebeling, C. (2000), “An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering”, Tata McGraw-Hill Company Ltd, New York, USA.

- Ghandi, M. and Roobahani, A. (2020), "Risk management of drinking water supply in critical conditions using fuzzy PROMETHEE V technique", *Water Resources Management*, Vol. 34 No. 2, pp. 595-615.
- Ghorabae, M.K., Amiri, M., Zavadskas, E.K. and Antucheviciene, J. (2018), "A new hybrid fuzzy MCDM approach for evaluation of construction equipment with sustainability considerations", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol. 18 No. 1, pp. 32-49.
- Gilchrist, W. (1993), "Modeling failure mode and effect analysis", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 10, 16-23.
- Jafarzadeh Ghouschi, S., Ab Rahman, M.N., Raeisi, D., Osgoee, E. and Jafarzadeh Ghousji, M. (2020), "Integrated decision-making approach based on SWARA and GRA methods for the prioritization of failures in solar panel systems under Z-Information", *Symmetry*, Vol. 12 No. 2, p. 310.
- Khalilzadeh, M., Ghasemi, P., Afrasiabi, A. And Shakeri, H. (2020), "Hybrid fuzzy MCDM and FMEA integrating with linear programming approach for the health and safety executive risks: a case study", *Journal of Modelling in Management*, 1746-5664.
- Kiani, R.M., Goh, M. and ZARBAKHSHNIA, N. (2017), "Sustainable third-party reverse logistic provider selection with fuzzy SWARA and fuzzy MOORA in plastic industry", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Heidelberg Vol. 91, Iss. 5-8, 2017: 2401-2418.
- Klir, G.J. ve Yuan, B. (1995), "Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Application", Prentice- Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Koulinas, G., Marhavilas, P., Demesouka, O., Vavatsikos, A. and Koulouriotis, D. (2019), "Risk analysis and assessment in the worksites using the fuzzy-analytical hierarchy process and a quantitative technique—a case study for the Greek construction sector", *Safety Science*, Vol. 112, pp. 96-104.
- Liu, H.C. (2019), "FMEA using cloud model and PROMETHEE method and its application to emergency department", *Improved FMEA Methods for Proactive Healthcare Risk Analysis*, Springer Singapore, Singapore.
- Liu, H.C., You, J.X., You, X.Y. and Shan, M.M. (2014) "A novel approach for failure mode and effects analysis using combination weighting and fuzzy VIKOR method" *Applied Soft Computing*, Volume 28, Pages 579-588.
- Mete, S., Serin, F., Oz, N.E. and Gul, M. (2019), "A decision-support system based on Pythagorean fuzzy VIKOR for occupational risk assessment of a natural gas pipeline construction", *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, Vol. 71, p. 102979.
- O'Connor, P.D.T. (2000), "Practical Reliability Engineering", Heyden, London.
- Opricovic, S. (2011), "Fuzzy VIKOR with an Application to Water Resources Planning", *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, 12983-12990.
- Pillay, A. ve Wang, J. (2003), "Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 79, 69-85.
- Poyraz, P. (2021), "Tedarik zinciri risk yönetiminde süreç aşamalı bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile hata analizi", *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*.
- Rezaee, M.J., Yousefi, S., Eshkevari, M., Valipour, M. and Saberi, M. (2020), "Risk analysis of health, safety and environment in chemical industry integrating linguistic FMEA, fuzzy inference system and fuzzy DEA", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Vol. 34 No. 1, pp. 201-218.
- Ross, T.J. (1995), "Fuzzy Logic with Engineering Applications", McGraw-Hill, New York, NY.
- Sharma, R. (2005), "Fuzzy logic methodology to prioritize failure causes in FMEA", *Proceedings of International Conf. on Emerging Technologies, ICET- 2004*, Allied Pub., New Delhi, 298-306.
- Song, W., Ming, X., Wu Z. and Zhu, B. (2013) "Failure modes and effects analysis using integrated weight-based fuzzy TOPSIS" *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 26:12, 1172-1186.
- Stanujkic, D., Karabasevic, D. ve Zavadskas, E.K. (2015), "A framework for the selection of a packaging design based on the SWARA method", *Inzirine Ekonomika-Engineering Economics*, 26(2), 181-187.
- Sumrit, D. (2020), "Supplier Selection for Vendor-Managed Inventory in Healthcare Using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making", *Decision Science Letters*, 9 (2), 233-256.
- Tabaraee, E., Ebrahimnejad, S. and Bamdad, S. (2017), "Evaluation of power plants to prioritise the investment projects using fuzzy PROMETHEE method", *International Journal of Sustainable Energy*, Vol. 37 No. 10, pp. 941-955.
- Tay, K. ve Lim C. (2006), "Fuzzy FMEA With A Guided Rules Reduction System For Prioritization of Failures", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 8, 1047-1066.
- Terano, T., Asai, K. ve Sugeno, M. (1987), "Fuzzy Systems Theory and its Application", Academic Press, San Diego, CA.
- Wu, X and Wu, J. (2021), "The Risk Priority Number Evaluation of FMEA Analysis Based on Random Uncertainty and Fuzzy Uncertainty", *Hindawi Complexity*, Vol. 2021, 1-15.
- Xiao, N., Huang, H.Z., Li, Y., He, L. and Jin, T. (2011), "Multiple failure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA", *Engineering Failure Analysis*, Vol. 18, 1162-1170.
- Xu, K. ve Tang, L.C. (2002), "Fuzzy assessment of FMEA for engine systems", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 75, 17-29.
- Zadeh, L. (1965), "Fuzzy sets", *IEEE Information and Control*, Vol 8, 338-53.
- ZARBAKHSHNIA, N., Soleimani, H. and Ghaderi, H. (2018), "Sustainable third-party reverse logistics provider evaluation and selection using fuzzy SWARA and developed fuzzy COPRAS in the presence of risk criteria", *Applied Soft Computing*, Vol. 65, pp. 307-319.
- Zhang, H.-J., Zhou, Y. and Gan, Q.-H. (2019), "An extended PROMETHEE-II-Based risk prioritization method for equipment failures in the geothermal power plant", *International Journal of Fuzzy Systems*, Vol. 21 No. 8, pp. 2490-2509.
- Zhu, J., Shuai, B., Li, G., Chin, K.-S. and Wang, R. (2020), "Failure mode and effect analysis using regret theory and PROMETHEE under linguistic neutrosophic context", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 64, p. 104048.
- Zimmermann, H. (1996), "Fuzzy Set Theory and its Applications", Baskı 3, Kluwer Academic Pub., London.



AÇIK MADEN OCAKLARINDA İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA) KULLANIMI

Abdurahman Yasin YİĞİT¹, Yunus KAYA^{2*}, Halil İbrahim ŞENOL²

¹ Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

² Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Fotogrametri,
Açık Maden Sahası,
Hareket Tabanlı Yapısal
Algılama,
Hacim Hesabı,
İnsansız Hava Aracı.

Öz

Teknolojik gelişmelere paralel olarak son birkaç on yılda veri elde etme yöntemlerinde önemli bir gelişme olmuştur. Ancak dijitalleşmenin katlanarak gelişmesiyle birlikte veriler daha karmaşık hale gelmiş ve elde edilen verilerden anlamlı bilgilere hızlı bir şekilde ulaşmak önem arz etmeye başlamıştır. Günümüzde İnsansız Hava Araçları (İHA), maliyet, zaman ve iş güvenliği açısından avantajlı olması ve yüksek performanslı kamera, pil ve küresel konumlandırma sistemlerine sahip olması nedeniyle birçok disiplin tarafından farklı amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. İHA ve modern fotogrametrik yöntemleri kullanan görüntü işleme yazılımlarının gelişmesi, açık maden işletme alanlarında harita ve 3 Boyutlu (3B) model üretimi çalışmalarına hız kazandırmıştır. Özellikle İHA ile zorlu arazi koşullarında kolay, hızlı, yüksek hassasiyetli ve ekonomik ölçümler yapılabilmektedir. Bu çalışmada, açık maden ocaklarında İHA tabanlı haritalama ile üretilen ortofoto haritalar ve Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM) ile stok ve döküm hacmi belirleme ve ölçüm çalışmaları klasik yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada 0.13 km²'lik bir açık maden ocağı İHA'dan elde edilen görüntüler ile modellenmiştir ve kazı hacimleri hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında klasik hacim hesaplaması ile iki farklı yazılımda yapılan analiz sonucunda 0.98 ve 0.95 oranında doğruluk elde edilmiştir.

USING UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) IN OPEN-CAST MINES

Keywords

Photogrammetry,
Open Mine Site,
Structure from Motion,
Volume Calculation,
Unmanned Aerial Vehicle.

Abstract

In parallel with technological developments, there has been a significant improvement in data acquisition methods in the last few decades. Today, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have started to be preferred by many disciplines for different purposes due to their advantage in terms of cost, time, and safety, and due to their rapidly shrinking and high-performance camera, battery, and global positioning systems. The development of image processing software using UAVs and modern photogrammetric methods has accelerated the production of maps and 3D models in open mining areas. Especially with UAVs, easy, fast, high precision and economical measurements can be made in difficult terrain conditions. In this study, orthophoto and Digital Elevation Models (DEM) produced by UAV-based mapping in open pits and stock and pile volume determination and measurement studies were compared with classical methods. In the study, an open-cast mine of 0.13 km² was modeled with images obtained from UAV and excavation volumes were calculated. Within the scope of the study, as a result of the classical volume calculation and the analysis made in two different software, an accuracy of 0.98 and 0.95 was obtained.

Alıntı / Cite

Yiğit, A.Y., Kaya, Y., Şenol, H.İ., (2023). Açık Maden Ocaklarında İnsansız Hava Aracı (İHA) Kullanımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 225-235.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A.Y. Yiğit, 0000-0002-9407-8022
Y. Kaya, 0000-0003-2319-4998
H. İ. Şenol, 0000-0003-0235-5764

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	19.03.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	23.09.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	29.11.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: yunuskaya@harran.edu.tr, +90-414-318-1855

USING UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) IN OPEN-CAST MINES

Abdurahman Yasin YİĞİT¹, Yunus KAYA^{2†}, Halil İbrahim ŞENOL²

¹ Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, Mersin, Türkiye

² Harran Üniversitesi, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, Şanlıurfa, Türkiye

Highlights

- UAV photogrammetric methods accelerate the production of maps in open mining areas.
- An open-cast mine of 0.13 km² was 3D modeled and excavation of stock volumes were calculated.
- SfM has a transformative impact on mine site surveys, fast, cost-effective and easy 3D measurements.

Graphical Abstract



Figure. İHA fotogrametrisi ile üretilen dijital çıktılardan hacim hesabı
(Volume calculation from digital outputs produced by UAV photogrammetry)

Purpose and Scope

The aim of this study; The aim is to determine the current status and volumetric changes of the open pit mine by UAV and photogrammetric methods. In this context, high resolution orthophoto, DEM and 3D model of the mine were produced. Then, the volume calculations of the waste area were made. For the volume calculation, first the waste area was measured geodesically and the volume was calculated and the same waste area was calculated from the digital models produced by UAV photogrammetry.

Design/methodology/approach

In this study, the UAV photogrammetry technique was preferred for monitoring and mapping the open pit mine. Analyzes were made on the digital outputs produced using UAV photogrammetry and the accuracy of the models obtained was examined. Then, the volume calculations of the waste area were made.

Findings

Two different software were used for volume calculation. In both software, the point cloud is used as elevation data. The volume calculation was made with the classically measured points in the field and high accuracy was achieved by comparing them with both software.

Practical Implications

As can be seen from the volume calculation results made in two different software, UAV photogrammetry can provide the expected accuracy, especially in open mine sites where the amount of excavation is high. For future studies, investigating the accuracy of the measurements to be made without establishing a GCP on the land will accelerate the process even more.

Social Implications

The results of this study will be exemplary for government institutions that conduct continuous inspections of mining sites?

Originality

Although UAV photogrammetry is a new approach in open pit mining areas, the comparison of different software in volume calculation is exemplary.

[†] Corresponding author: yunuskaya@harran.edu.tr, +90-414-318-1855

1. Giriş (Introduction)

Ülkelerin enerjiden sonraki temel gereksinim maddeleri endüstriyel kayaçlar ve minerallerdir. Türkiye yer altı ve yer üstü kaynakları bakımından zengin bir ülkedir ve yer üstü kaynaklarını oluşturan kayaçların maden ocakları işletmeleri ile çıkarılması ülke ekonomisi için önem arz etmektedir (İncekara vd., 2018). Açık maden sahalarında çıkarılan mermer, çakıl vb. ham maddeler bu kategoriye girmektedir. Madencilik sektörünün en önemli alt sektörü olan mermer sektörü de dünya ve Türkiye tarihinde değişik medeniyetlere damgasını vurmuş önemli bir yer altı kaynağıdır (Demir ve Güngör, 2013). Günümüzde mermer kullanım alanlarının çoğalması ile mermere olan talep gittikçe artmıştır. Mermer üretimi, genel madencilik sektörü içinde önemli bir yere ulaşmıştır (Yadigar vd., 2014).

Son yıllarda mermere olan talep ile mermer maden ocaklarında çalışmalar hız kazanmıştır. Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG) tarafından yayınlanan verilere göre 2021 yılında faaliyette olan mermer ocağının da bulunduğu II(B) gurubu sayısı bir önceki yıla göre %127 artarak toplam 4647 adet olmuştur. Ayrıca MAPEG tarafından Türkiye’de madencilik faaliyetleri için arama ve işletme olarak iki adet ruhsat verilmekte olup mevcut durumda yaklaşık olarak toplam 14.721 adet açık maden sahasının işletme ruhsatı bulunmaktadır (URL-1). Bununla birlikte madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirildiği maden ocağı için çalışma sınırları işletme ruhsatı ile belirlenmiş olup kazı çalışmalarının ilerlemesi, çıkarılan ham maddelerin biriktirilmesi ve taşınması, açık maden sahasını çevreleyen dış sınırın zaman içerisinde değişmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla mevcut çalışma sınırların kontrolü için açık maden sahalarında zamansal değişimin izlenmesi gerekmektedir (Paull vd., 2006; Erener, 2011). Ayrıca açık maden işletmesinin kapalı madenlere göre kazı miktarı çok daha fazla olması hafriyat maliyetinin çok yüksek olmasına yol açmaktadır. Bu doğrultuda harita üretimi amacıyla uygulanan geleneksel yöntemler ile gerçekleştirilecek ölçmeler geniş ve çoğu zaman tehlikeli ve eğimli bir alana yayılan maden ocakları için zaman ve maliyet açısından dezavantajlı olabilmektedir. Bu gibi dezavantajları ortadan kaldırmak için görüntü tabanlı tekniklerle değişim tespitlerinin uygulanması önem arz etmektedir. Bu noktada da yöntemin ana materyali olan alana ait görüntülerin hızlı ve doğru bir şekilde toplanması gerekmektedir. İHA aracılığıyla toplanan yüksek çözünürlüklü görüntülerin fotogrametri yöntemiyle analiz edilebilecek hale gelmesi madencilik sektöründe özellikle altlık haritalarının üretiminde ve hacim hesaplarının yapılmasında önemli bir yere sahiptir.

Madencilik endüstrisinde de özellikle açık işletme maden planlamasında; imalat haritalarının çıkarılmasında, basamak geometrilerinin ve stabilitesinin kontrolünde ve saha rehabilitasyon çalışmalarına kadar madencilik girişiminin her aşamasında halihazır haritalarının yapılması önemli bir işlem adımıdır. 2017 yılına kadar maden ocaklarının haritaları genellikle klasik jeodezik ölçümler ile yapılarak 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar ile karşılaştırılarak yapılmaktaydı. Maden sahalarında harita uygulamaları, her ne kadar madencilik sektörünün en önemli unsurlarından biri olsa da bugüne kadar uygulamada birlik tesis edilmediğinden gerek ölçmede ve harita oluşturmada gerekse de kontrol sürecinde sorunlar yaşanmaktadır. 19 Aralık 2018 tarihinde sektördeki bu açığı kapatmak üzere MAPEG Harita Standartları yayınlanmıştır. Bu standartlar yersel ölçüm yöntemleri için yayınlanmış olsa da ilerleyen dönemlerde yayınlanacak olan İHA Sistemleri ile Detay Ölçmeleri, Harita Üretimi ve Kontrol Esasları'nın da temelini oluşturması bakımından önem arz etmektedir. Teknolojik gelişmelerle birlikte haritacılıkta fotogrametrik yöntemle harita üretimi insan gücünden ve zamandan tasarruf edilmesinin yanında yersel ölçü yöntemlerine göre çok daha pratik olması nedenleriyle son yıllarda popülaritesini artırmış ve fotogrametrik harita üretimi madencilik sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. Kurumun veri kabul formatının netleşmesi hem harita üretiminde hem de kontrol sürecinde yaşanan sorunları ortadan kaldırılmak amacıyla yine MAPEG tarafından 2019 tarihinde İHA Sistemleri ile Detay Ölçmeleri, Harita Üretimi ve Kontrol Esasları yayınlanmış (URL-2) ve bununla birlikte sektör tarafından oluşturulan haritaların İHA ile üretiminin ve haritaların kurum tarafından kabul edilerek kontrole tabi tutulmasının önü açılmıştır.

Son zamanlarda İHA'ların kayda değer gelişimi gözlemlenmiş ve uygulamaları tarım, sanayi ve çevre yönetimi gibi birçok alanda gösterilmiştir. Bununla birlikte, madencilik endüstrisinde İHA teknolojisinin uygulanması potansiyel olmaya devam etmektedir. İHA'ların maden sahalarında kullanılmasının önü açılması ile İHA fotogrametrisi tekniği ile maden sahalarında yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Gül (2019) çalışmasında, açık işletmelerde İHA tabanlı haritalama uygulamalarının avantajlarını açıklamıştır. Bu kapsamda, İHA fotogrametrisiyle üretilen ortofoto haritalar, Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM), dekapaj ve üretim miktarı hesapları, stok ve döküm hacmi tespiti ve deformasyon ölçüm çalışmalarını sunmuştur. Kun ve Özcan (2019), hazırladıkları çalışmada, örnek bir maden sahasında gerçekleşen hacim, alan ve kabarma faktörü gibi, özellikle açık işletme madencilğinde planlama ve hesaplamalarda kullanılan bazı verilerin, İHA kullanımı ile hızlı ve güvenilir bir biçimde eldesini konu almışlardır. Çalışma sonucunda, ele alınan sahada klasik metotlarla yapılan hesaplamaları ile İHA'lar ile elde edilen verilerin, uyumlu ve birbirlerine oldukça yakın değerler verdiği saptanmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Çalışmada, geleneksel metotlar ile kazı sonrası ölçülen hacim 86,77 m³, İHA ile yapılan ölçüm ve hesaplama sonucunda ise ölçülen Hacim 87,13 m³ bulunmuştur. Bui vd. (2019) çalışmalarında, Vietnam'ın en büyük kömür ocaklarından biri olan Coc Sau açık ocak kömür madeninde iki yönlü ölçüm gerçekleştirmek için düşük maliyetli İHA tabanlı bir sistem kullanmışlardır. Düşük maliyetli İHA sistemi,

madencilik operasyonlarını optimize etmek için kullanılabilir veri çeşitlerini toplamak ve aynı zamanda atmosferik ortamı kontrol etmek için tasarlanmışlardır. Yer izleme istasyonuna iletilen görüntülere dayalı olarak büyük ölçekli üç boyutlu (3B) topografik haritalar başarıyla oluşturulmuştur. Bu çalışmadaki saha testi sonuçları, 3B haritalama için düşük maliyetli İHA'nın uygulanabilirliğini göstermektedir.

Günümüzde İHA'lar maden sahalarında, hassas ve kısa zamanlı alan ve hacim ölçümlerinin yapılmasında aktif halde kullanılmaktadır. Hacim ve alanlar hem yerinde hem de stok sahasında ölçülebilmekte bu sayede sonuçlar sağlıklı bir şekilde ortaya konabilmektedir. Özellikle İHA gibi modern taşıyıcı platformlar ve görüntüleme teknikleri kullanmadan maden sahasında ölçüm işleri geleneksel metotlar ile oldukça zor olmaktadır. Bir maden sahasındaki basamaklar ve stok alanlarında klasik yöntemler ile hassas bir ölçüm yapmak için en hızlı çözüm aracı CORS-RTK yöntemidir. Bu ölçüm yöntemi için iki GNSS (Global Navigation Satellite System) alıcısı ile en az iki tane konu ile alakalı uzman operatöre ihtiyaç bulunmaktadır. Bir maden sahasının ölçümü için bölütleme yapmak yani bir parçasının ölçümünü yapmak teorik olarak uygulamada problemlere neden olmaktadır. Yani bir başka deyişle bir maden sahasının ölçümü söz konusu olduğunda genel bir haritası oluşturularak analizler ve hacim hesaplamaları yapılmaktadır. Maden sahalarının büyük alan kapladığı düşünüldüğünde CORS-RTK yöntemi ile ölçümü ve hacim hesabı için veri toplanması günler alabilmektedir. Ayrıca değerli cevherin çıkarıldığı alanlarda hacim hesabı yapılmasında en önemli nokta maden sahasındaki basamaklardır. Basamak sayısı arttıkça ölçüm için ayrılan zaman artacaktır. Değerli cevherin çıkarıldığı alan dışında pasa gibi alanların ölçümü ise maden sektöründe ayrı ölçümler olarak değil maden sahası ile bir bütün olarak ölçüldüğü için yine geleneksel metotlar ile zaman alıcı bir işlem olmaktadır. Ayrıca pasa alanlarının yükseltisi ve şevlerin durumu düşünüldüğünde yetersiz veya eksik veri toplanabilmektedir. Örneğin insan sağlığını riske atacak bir pasa alanı için klasik bir GNSS alıcısı ile ölçüm gerçekleştirmek için sık detay noktası toplanamayacak ve tam bir yükseklik modeli üretilemeyecektir. Bu durum hacim hesaplamasını olumsuz etkileyecektir. Bu durumlar ve maden sahasının bir bütün olarak ölçülmesi gerekliliği göz önüne alındığında İHA fotogrametrisi tekniği çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bu çalışmada olduğu gibi bir alanda uzman bir operatör, bir GNSS alıcısı ve İHA ile tüm maden sahasına ait detay verilerin arazide toplanması yaklaşık iki saat içinde tamamlanabilmektedir. Özellikle maden sahalarının yüksek eğimli ve ulaşılması zor kısımlara sahip olduğu düşünülürse İHA fotogrametrisi insan sağlığını riske atmaması açısından olumlu katkı sunmaktadır. Ayrıca klasik ölçüm yöntemleri ile arazinin durumuna bağlı olarak detay veri sıklığı beş metre aralıklara çıkmakta iken İHA fotogrametrisi ile üretilen yoğun nokta bulutunda santimetre sıklığında veri toplanabilmektedir. Ek olarak İHA fotogrametrisi ile üretilen dijital ürünler ile bir sonraki ölçümler için altlık olması amacıyla yüksek çözünürlükte ortofotolar ve yükseklik modellerinin kullanılması devlet ekonomisi için önem arz etmektedir. İHA fotogrametrisindeki bu gelişmeler doğrultusunda, açık maden işletmelerindeki halihazır harita üretimi, 3B modelleme, üretim ve dekapaj miktarının belirlenmesi, stok ve döküm sahası kübaj hesapları, kayaç tespiti, jeolojik haritalama, kazı planlaması ile alterasyon ve mineral tespiti, dik ve erişilemeyen noktaların haritalanması gibi çalışmalarda da yöntemden faydalanılmaktadır.

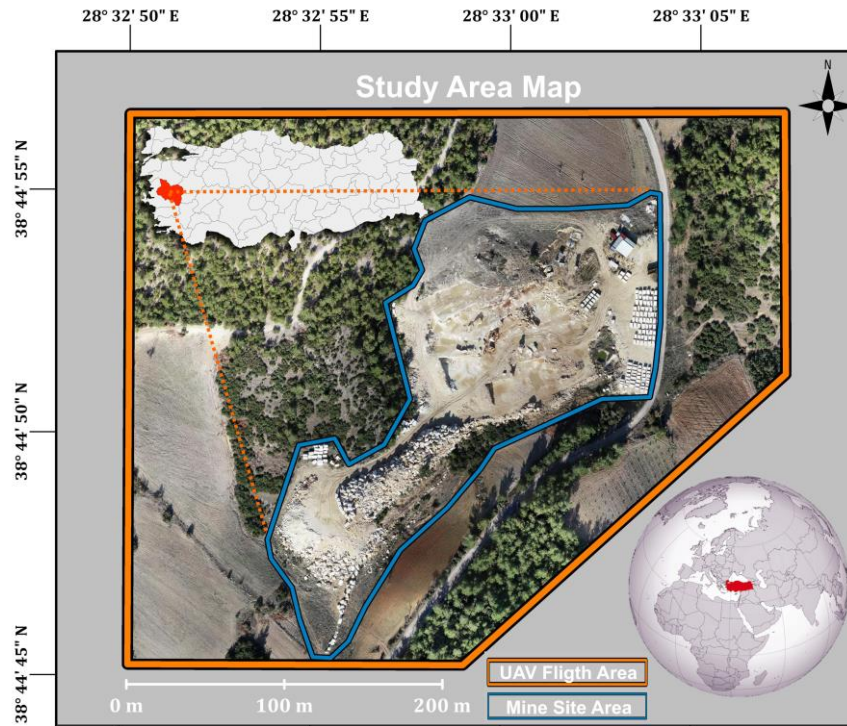
Bu çalışmada da açık maden ocağının mevcut durumu İHA ile gözlemlenmiş ve fotogrametrik yöntemler ile araziden veriler toplanmıştır. Elde edilen görüntü verileri kullanılarak maden ocağına ait yüksek çözünürlüklü ortofoto, SYM ve 3B model üretilmiştir. Üretilen dijital çıktılar kullanılarak maden ocağına ait analizler yapılmıştır ve elde edilen modellerin doğruluğu incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda araziye tesis edilen yer kontrol noktaları (YKN) ve test noktaları (TN) ile doğruluk analizi yapılmıştır. Daha sonra pasa alanına ait hacim hesapları yapılmıştır. Hacim hesabı için ilk olarak pasa alanı jeodezik olarak ölçülmüş ve hacim hesaplanarak aynı pasa alanı İHA fotogrametrisi ile üretilen dijital modellerden hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada açık maden ocağının izlenmesi ve haritalandırılması için fotogrametri tekniklerinden olan İHA fotogrametrisi tekniği tercih edilmiştir. İlk olarak çalışmanın yapıldığı maden ocağına ait bilgi verilmiştir ardından kullanılan jeodezik ölçüm donanımları ve İHA hakkında bilgi verilmiştir.

2.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Bu çalışma, Manisa ili Gökveliler ilçesinde Şekil 1'de gösterilen 0,13 kilometrekarelik bir açık maden ocağı işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Bölgedeki mermerin çok derinde ve dağınık olması yoğun kazı yapılmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada açık maden ocağındaki hacmin, fotogrametrik yöntemlere dayalı ölçüm ve hesaplanmasını belirli doğruluklar ile ortaya konulmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı (Study area)

2.2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışmada İHA fotogrametrisi metodu tercih edildiği için alana ait fotoğraf verileri gerekmektedir. Çalışmada kullanılan İHA Şekil 2'de, İHA fotogrametrisi uçuş bilgileri ise Tablo 1'de verilmiştir. Görüntüler çekildiğinde, çalışma alanının en yüksek ve en düşük noktası arasındaki fark 90 m, ortalama eğim %5,3 ve maksimum eğim %59,9'dur. İHA ile havadan fotoğraf çekiminde iki tip uçuş vardır. Birincisi arazi modeline (Terrain Model) göre oluşturulan yükseklik profili ile yapılan uçuş, diğeri ise belirli bir yükseklikten klasik olarak yapılan uçuştur. Çalışmada arazi modeline göre oluşturulan yükseklik profili ile uçuş yapılmıştır. Fotogrametrik uçuşta %85 ileri (boyuna) bindirme, %60 yana (enine) bindirme gerçekleştirilmiştir. İHA ile toplam 282 fotoğraf verisi toplanmıştır. Uçuşlar, 3.05 cm/piksel yer örneklem aralığında (YÖA/GSD) 105 metre yükseklikten yapılmıştır. Çalışma Şubat 2022 tarihinde gerçekleştirilmiş olup gölge alanlarından kaçınmak amacıyla güneş açısının dik olduğu öğle saatinde (yaklaşık 11:00) uçuşlar gerçekleştirilmiş olup toplam uçuş süresi 36 dakikadır.

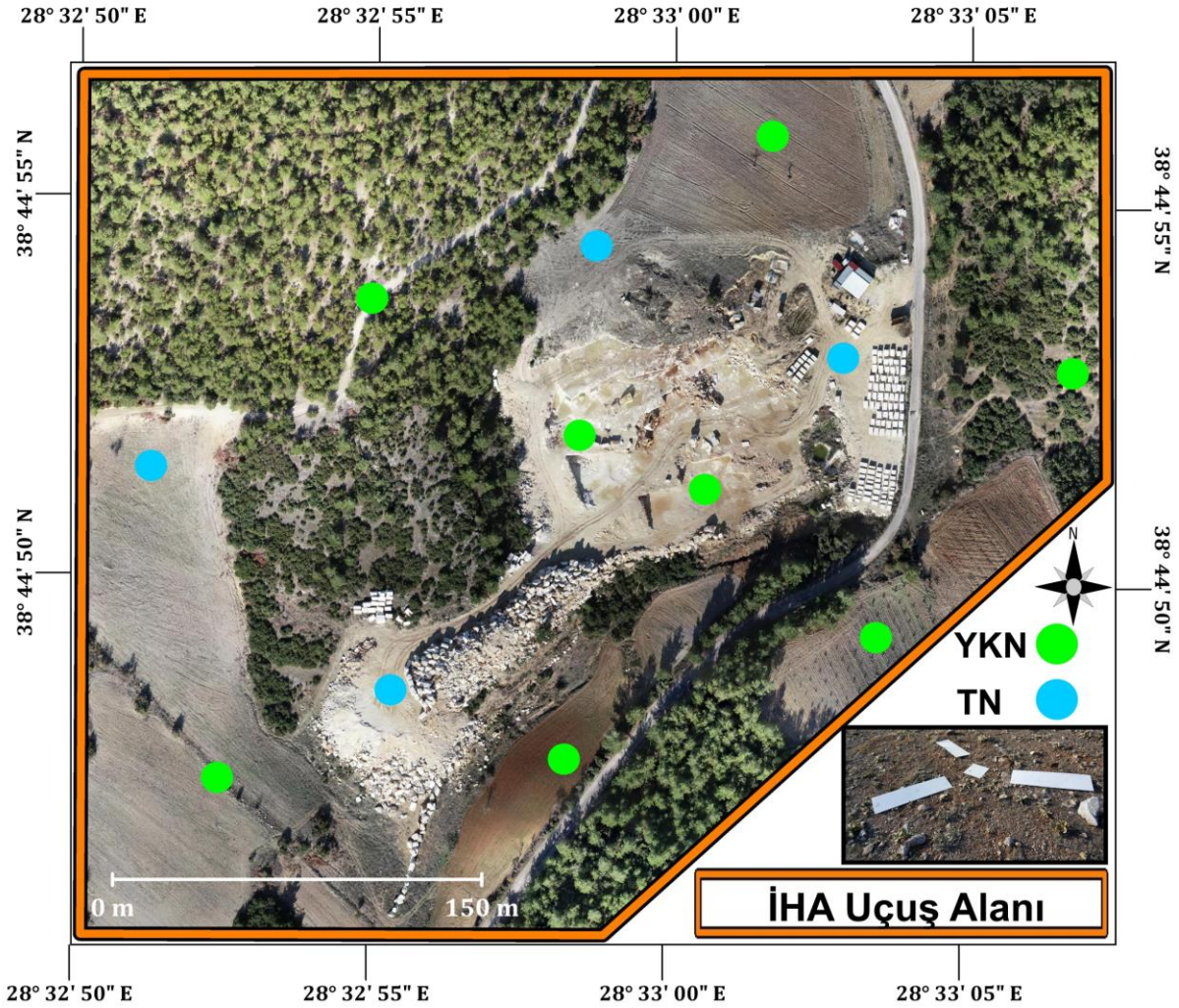


Şekil 2. Kullanılan İHA ve otonom uçuş yazılımı (UAV and autonomous flight software)

Tablo 1. İHA fotogrametrisi için uçuş planlama bilgileri (Flight planning information for UAV photogrammetry)

Uçuş yazılımı	Uçuş Yöntemi	Bindirme oranları	Ortalama YÖA/Uçuş yüksekliği	Uçuş süresi/toplam fotoğraf
Maps made easy: map plot pro	Basit tek ızgara yöntemi	%85 / %65 (boyuna/enine)	3.05 cm/105 m	36 dakika/282

Fotogrametri yöntemi ile üretilen sonuç ürünleri yer merkezi ile aynı konuma getirmek (georeferanslandırma) için araziden detay ölçümü yapılmalıdır. Ayrıca bu işlemin yapılmasının bir diğer sebebi farklı yöntemler ile üretilen ürünlerin aynı koordinat sisteminde kullanılmak istenmesidir. Bu sebeple çalışma alanının uygun noktalarına homojen dağılım olacak şekilde hedef işaretleri yani Yer Kontrol Noktaları (YKN) tesis edilmiştir. Ayrıca İHA verilerinden üretilen ürünlerin doğruluğunu analiz etmek için Test Noktaları (TN) tesis edilmiştir (Şekil 3).

**Şekil 3.** Kullanılan YKN ve TN konumları (Locations of GCPs and CPs)

YKN ve TN'leri belirlemek için çalışma alanına eşit olarak dağıtılmış 12 hedef yerleştirildi. YKN'ler, MAPEG'in yayınlamış olduğu harita standartlarına göre (URL-2); her YKN arası 250 metreyi geçmeyecek şekilde eğim ve yüksekliğin değiştiği yerlere tesis edilmiştir. Her hedefin coğrafi konumu ve elipsoidal yükseklikleri, yatayda 10 mm + 1.0 ppm ve düşeyde 15 mm + 1.0 ppm doğrulukla Topcon HiPer SR marka RTK/CORS GNSS ile ölçülmüştür. Bütün hedef işaretleri en az 1 saat ara ile 2 kez olmak üzere 30 epok (Her epok 1 saniyedir) ölçülmüştür. Ek olarak hacim hesabında referans olarak kabul edilmesi amacıyla ölçülecek jeodezik noktalar için Topcon ES-60 Serisi Total Station cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, standart prizmalar ile 4.000 m'ye kadar ölçüm yapabilir ve 500 m'ye kadar 3 mm + 2 ppm hassasiyette ölçüm doğruluğuna sahiptir. Cihaz ile ölçülen noktalar arasındaki maksimum mesafe 50 metre olduğundan koordinatlar 3,1 mm hassasiyetle ölçülmüştür.

Çalışma alanının engebesi ve bitki örtüsüne bağlı olarak YKN ve TN tesisi için geçen süre değişmektedir. Bu çalışmada tercih edilen maden sahasında ön istikşaf sonucunda YKN ve TN tesisi için iki faz ölçüm gerçekleştirilmiş olup yaklaşık iki saatlik bir süre harcanmıştır. İHA ile iki blok uçuş yapılmış olup yaklaşık 36 dakikalık süre

harcanmıştır. Bu tarz bir maden ocağında İHA fotogrametrisi için arazide toplam geçen süre yaklaşık iki buçuk saat sürmüştür. Böyle bir arazide özellikle yükseklik verilerini üretmek amacıyla bir RTK/CORS GNSS cihazı ile topoğrafyanın haritasını çıkarmak için beş metrede bir veri alınmak istenirse yaklaşık 10-14 saat arası zaman almaktadır. Bu süre sadece yatay düşey koordinat verileri için geçerlidir. Maden sahasının cevher çıkan kısımlarında basamakların detaylı verileri için ek ölçümlere gerek duyulmaktadır. Ayrıca şevlerin başlangıç ve bitiş noktaları için beş metrelik bir aralık kaba olacağı için daha detaylı veri toplamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmanın bir diğer odak noktası geleneksel ölçüm ve İHA fotogrametrisi için arazide geçen süreyi tam olarak karşılaştırmak istenildiği için ve bu işlemin özellikle zaman alan ve hassasiyeti önemli olan hacim hesaplarında analiz edilmek istenilmiştir. Bu yüzden hacim hesabı için detaylı olarak incelenen alanlara ait 139 adet koordinat toplanmıştır. Bunun için geçen süre operatöre bağlı olarak yaklaşık yarım saat sürmüştür. Fakat çalışma alanının tamamı düşünüldüğünde bu sürenin böyle bir arazide detaylı bir şekilde ölçülmesi için bitki örtüsüne de bağlı olarak günler alacaktır. Bu yüzden arazinin yapısına ve yapılacak olan iş planına göre İHA fotogrametrisinin kullanılması zaman açısından da büyük avantaj sağlamaktadır.

2.3. İHA Fotogrametrisi ve Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (UAV Photogrammetry and Structure from Motion/SfM)

Fotogrametri, fotoğraflık görüntülerin ve yayılan elektromanyetik enerjinin şekillerinin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonucu fiziksel cisimler ve çevre hakkında güvenilir bilgileri ortaya koyan bir bilim dalıdır (Egels ve Kasser, 2001; Schenk, 2005; Chiabrando vd., 2015). Ayrıca fotogrametri, yerbilimcilerin çevrenin geometrisini daha iyi anlamak ve zaman içinde meydana gelen topografik değişiklikleri tespit etmek için kullandıkları güçlü ve kullanışlı bir araçtır (Linder, 2009). 2B görüntülerden 3B model oluşturarak üzerinden her türlü metrik bilgiyi almaya imkân sunan bilim dalıdır (Barbero-Garcia vd., 2020; Bot vd., 2019).

Uzun yıllardır kullanılan fotogrametri tekniği temelde resim çekim konumuna göre hava fotogrametrisi ve yersel fotogrametri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Hava fotogrametrisi genellikle çok büyük alanların topografik haritalarının yapılması için tercih edilmektedir (Alptekin ve Yakar, 2020). Hava fotogrametrisi yönteminde genellikle tercih edilen uçuş yüksekliği bin metrenin üzerindedir. Bu durum maden haritalama çalışma alanları için uygun görülmemektedir. Yersel fotogrametri daha çok objelerin 3B modellenmesi üzerine kullanılmaktadır. Örneğin yersel fotogrametri ile bu tarz bir çalışma alanında daha fazla fotoğraf çekilmesi gerekecektir bu da fotoğraf çekim süresini uzatacaktır. Zaman içerisinde hava fotogrametrisi ve yersel fotogrametri yönteminin boşluklarını doldurmak için kullanıcıyı farklı alternatif veri toplama tekniklerini kullanmaya yöneltmiştir. Bu yönelme özellikle zaman ve maliyet konusunda avantaj sağlayan İHA'ların fotogrametriye adaptasyon sürecini hızlandırmıştır (Ulvi ve Toprak, 2016). Buna bağlı olarak da İHA fotogrametrisi, literatürde yer almaya başlamıştır. İHA fotogrametrisi, genel olarak içerisinde herhangi bir insan taşımadan, otonom veya manuel olarak kontrol edilebilen bir hava aracına entegre edilen kamera ile çekilmiş fotoğraflar kullanılarak yapılan fotogrametrik sürecin genel tanımıdır. Bu bağlamda İHA fotogrametrisi ile özellikle yeni gelişen görüntü işleme teknikleri birçok disiplin tarafından farklı çalışmalarının gözdesi haline gelmiştir (Ulvi, 2021). Ayrıca İHA fotogrametrisinin hızlı gelişmesinin bir başka sebebi de günümüzde, kameralarla çekilmiş fotoğraflardan yüzeylerin 3B modellemesini gerçekleştirmemize olanak tanıyan az sayıdaki düşük maliyetli yazılım uygulamalarının çoğu, Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (Structure from Motion/SfM) gibi özel algoritmalara dayanmasıdır (Uysal vd., 2015).

SfM, 2B görüntü dizilerinden 3B yapıları tahmin etmek için kullanılan bir fotogrametrik görüntüleme tekniğidir. SfM yönteminde, üst üste binen çerçevelerin bir dizisinden 3B modeller oluşturulur. Kısa bir süre içinde SfM; hızlı, düşük maliyetli ve kolay 3B ölçümler sağlayan yerbilimi araştırmaları üzerinde dönüştürücü bir etkiye sahip olmuştur (Fonstad vd., 2013). Bunun sebebi SfM tekniği, belirli çalışma yöntemlerine uyulduğu takdirde yersel ve farklı hava platformlarından alınan fotoğrafların entegre edilmesi olanağını da sunmaktadır.

Literatürde, birçok araştırmada SfM teknolojisi batık yüzeylerin incelenmesi (Bemis vd., 2014; Dietrich, 2017); toprak erozyonu (Woodget vd., 2015); buzullar (Glendell vd., 2017; Vincent vd., 2016); heyelan yer değiştirmesinin izlenmesi (Anderson vd., 2019; Zhang vd., 2019); açık ocak madencilik alanları (Eker ve Aydın, 2021; Tong vd., 2015); topografik araştırmadaki kavram kanıtlarından batimetrik etütlerin nicelendirilmesi, su altı arkeolojisi, restorasyon izleme, jeomorfolojik değişiklik tespiti ve tortu taşıma yolu tanımlaması dahil olmak üzere farklı türlerde analizler ve araştırmalar yapmak için kullanılmıştır (Fonstad vd., 2013; Xiang vd., 2018).

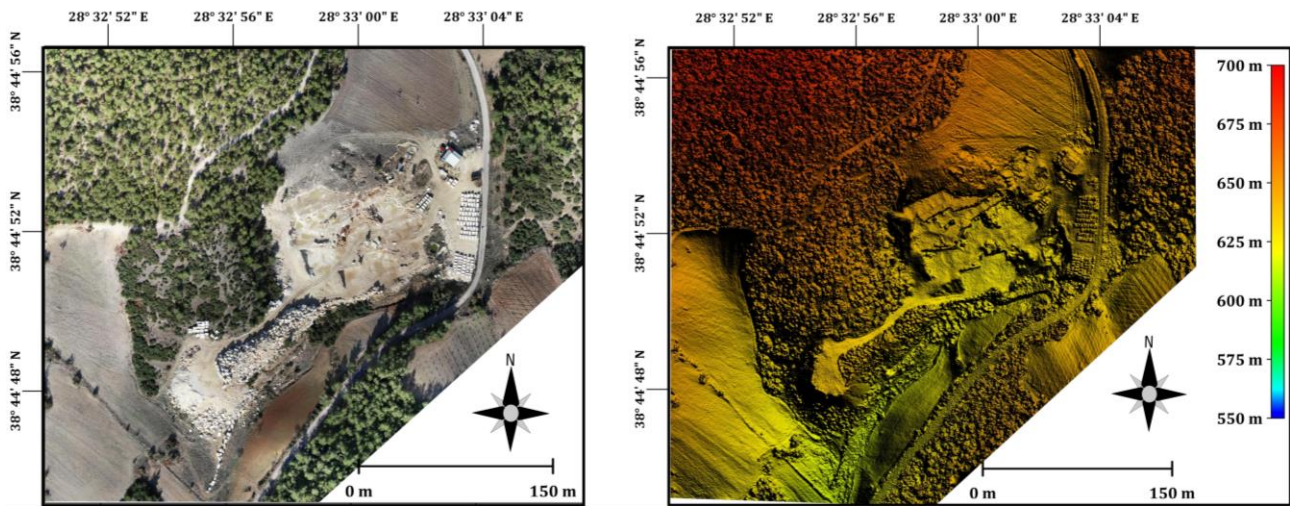
Geleneksel stereoskopik fotogrametri ile SfM yöntemi arasındaki temel fark, 3B uzayda bir noktanın kesin konumunun elde edilmesi için gerekli hesaplamaların tam otomatik yapılması ve kameraların hassas konumlandırılmasına gerek olmamasıdır (Carrivick ve Smith, 2019). Ayrıca kameranın yön değişikliği uzaydaki noktaların yeniden yapılandırılmasını etkilemediği için video kaydını kullanmak da mümkündür.

3. Bulgular (Results)

Bu kısımda üretilen dijital ürünler açıklanmış ve yapılan doğruluk analizi ve hacim hesabı aktarılmıştır. Elde edilen ürünler hakkında analizler son bölümde verilmiştir.

3.1. Dijital Ürünlerin Üretimi (Generated of Digital Products)

Fotogrametrik değerlendirme işlemi Agisoft Metashape yazılımında gerçekleştirilmiştir. Fotogrametrik değerlemede ilk olarak ham fotoğrafların hizalanması, kalibrasyonu ve dengelenmesi yapılmıştır. Bu aşamada demet blok dengelemesi yapılır ve SfM algoritması uygulanmıştır. Demet blok dengelemesi; model veya resim koordinatlarından ve yer kontrol noktalarının bilinen arazi koordinatlarından yararlanarak, her bir fotoğraf veya stereo resim çiftinin dış yöneltme elemanları, fotogrametrik bağlama noktaları ve yeni noktaların üç boyutlu arazi koordinatlarını hesaplama yöntemidir (Hamal vd., 2020; Sarı vd., 2020). Bu işlemde hesaplanan iç yöneltme parametreleri tüm fotoğraflar için aynıdır. Bu işlem adımından sonra dış yöneltme parametreleri tek tek optimize edilmiş ve kameralar hizalanmıştır. Daha sonra arazide ölçümü yapılan YKN'ler işaretlenerek görüntü koordinat sistemi ile yer koordinat sistemi ilişkilendirilmiştir. Arazide ölçülen 12 noktadan 8'i benzerlik (Helmert) dönüşümünde kontrol noktası, 4'ü ise test noktası olarak kullanılmıştır. Bu aşamadan sonra tahmini kamera konumlarına ve görüntülerin kendisine dayalı olarak yoğun nokta bulutu verisi üretilerek araziye ait ortofoto ve yükseklik haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. İHA fotogrametrisi yöntemi ile üretilen Ortofoto (sol) ve Sayısal Yükseklik Modeli (sağ) (Orthophoto (left) and Digital Elevation Model (right) produced by UAV photogrammetry method)

3.2. Doğruluk Analizi ve Hacim Hesabı (Accuracy Analysis and Volume Calculation)

İHA sistemleri, platformlarında yer alan Global Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System/GPS) ve Küresel Uydu Konumlandırma Sistemi (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema/GLONASS) adlı uydu konumlandırma sistemleri sayesinde çekilen fotoğraflarda enlem, boylam ve irtifa bilgilerini kaydedebilmektedir. Ancak herhangi bir coğrafi referans girişi olmaksızın, istenilen koordinat sisteminde ve yaklaşık bir ölçekte bir model üretilmesine kabaca katkıda bulunsa da istenen koordinat sisteminde ve gerçek ölçüm değerinde kesin sonuçlar elde edilemez.

Agisoft Metasahape yazılımında ilk önce İHA görüntüleri hizalanarak seyrek nokta bulutu üretilmiştir. Bu aşamada modelin doğruluğu 73 cm olarak hesaplanmıştır. Daha sonra hem modelin doğruluğunu artırmak hem de yer merkezi ile tam ve doğru bir referanslandırma için kontrol noktaları görüntülere işaretlenmiştir ve model tekrar optimize edilmiştir. Araziye tesis edilen 8 adet YKN ile optimizasyon sonucunda modelin doğruluğu 2.47 cm olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan modelin 3B konum hatasını hesaplamak için 4 adet TN analiz edilmiştir. Bu işlem için YKN ile referanslanan model üzerinden alınan TN koordinatları arazide RTK/GNSS cihazı ile alınan koordinatlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda Tablo 2'de verilen her TN için XYZ yönündeki hata miktarları hesaplanmıştır daha sonra Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak, farklar (v_i) ve ölçü sayısı (n) dikkate alınarak 3B konum hatası hesaplanmıştır.

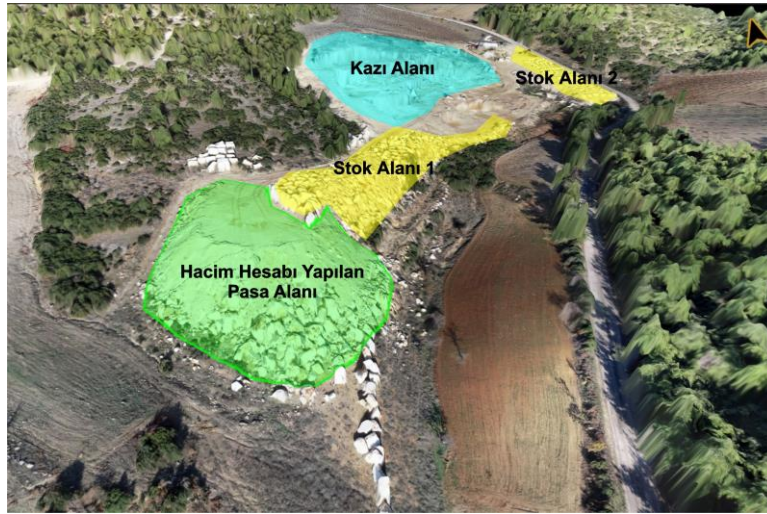
Tablo 2. TN'lerin konum hatası (CPs' position error)

N.N	Vx (cm)	Vy (cm)	Vz (cm)	Piksel	VxVx (cm ²)	VyVy (cm ²)	VzVz (cm ²)
TN1	-1.319	-0.044	-0.306	1.354	1.740	0.002	0.094
TN2	-0.13	-1.337	-0.144	1.35	0.017	1.788	0.021
TN3	1.992	-1.189	-2.361	3.309	3.968	1.414	5.574
TN4	-0.248	1.697	0.269	1.735	0.062	2.880	0.072
Konum Hatası (cm)					mx	my	mz
					1.389	1.424	1.386
3B Konum Hatası (mxyz)					2.424		

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum V_x V_x}{n-1}}, \quad m_y = \sqrt{\frac{\sum V_y V_y}{n-1}}, \quad m_z = \sqrt{\frac{\sum V_z V_z}{n-1}} \quad (1)$$

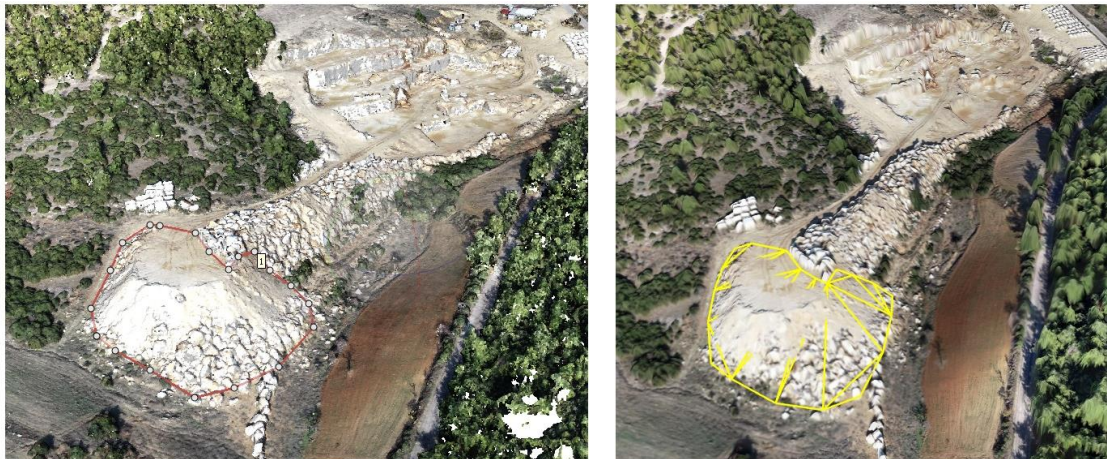
$$m_{xyz} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} \quad (2)$$

Şekil 5'te gösterildiği gibi, taban sınırları net olarak görülen pasa alanının alan ve hacmi hesaplanmıştır.



Şekil 5. Maden sahasının genel görünümü (General view of the mine site)

İlk olarak hacim hesabı yapılacak olan 2810.10 m²'lik pasa alanında klasik olarak total station ile ölçüm yapılmıştır. Bu işlem için 139 adet koordinat verisi elde edilmiştir. Pasa alanına ait hacim hesabı 2 farklı yazılımda incelenmiştir. Her iki yazılımda aynı sınırlar içinde karşılaştırma yapılması için klasik olarak ölçülmüş noktalardan sınırlar teyit edilmiş ve yazılımlara dış sınırlar aktarılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Hacim hesabı yapılan pasa alanı. Agisoft Metashape (sol), Virtual Surveyor (sağ)
(The area of the passage for which the volume is calculated. Agisoft Metashape (left), Virtual Surveyor (right))

İHA fotogrametrisi sürecinin işlendiği yazılım olan Agisoft Metashape yazılımında nokta bulutu verilerinden yararlanılarak pasa alanın hacmi hesaplanmıştır. Daha sonra yükseklik model ile ortofoto verileri kullanılarak 3B

görselleştirmeyi ve fotogerçekçi bir model oluşturmayı mümkün kılan ve modelden analizler yapmaya imkân veren Virtual Surveyor yazılımında hacim hesabı yapılmıştır. Her iki yazılımda da yükseklik verisi olarak nokta bulutu kullanılmıştır. Arazide klasik olarak ölçülen noktalar ile hacim hesabı yapılmış ve 4355.45 m³ hesaplanmıştır. Agisoft Metashape ve Virtual Surveyor yazılımında aynı alana ait pasa alanın hacmi ise sırasıyla 4460.80 m³ ve 4563.25 m³ olarak hesaplanmıştır.

4. Sonuç (Conclusion)

Bu çalışmada madencilik sektöründe önemli olan açık maden ocaklarının alanlarının ve kazı hacimlerinin belirlenmesi için İHA tabanlı fotogrametrik bir yaklaşım sunulmuştur. Düşük maliyetli ve kısa süreli yapılan görüntüleme işlemi sayesinde SfM fotogrametrisi kullanılarak açık maden uygulamaları için kabul edilebilir doğruluklarla alan ve hacim ölçümleri gerçekleştirilebilmektedir. İHA fotogrametrisiyle elde edilen ürünlerin fotogrametrik değerlendirilmesinde arazi koordinatlarının da (YKN/TN) kullanılması modelin doğruluğunu artırmaktadır. İHA fotogrametrisiyle elde edilen ortofoto ve SYM'nin çözünürlüğü sırasıyla 2.09 ve 10.08 cm/piksel'dir. Çalışmada maden sahasındaki hacim hesabının kontrolü için Total Station ile elde edilen jeodezik veriler referans veri olarak kullanılmıştır. Ayrıca ~2810 m²'lik alanda jeodezik yöntemle toplanan 139 adet topoğrafik veri yaklaşık nokta/20 m²'lik nokta yoğunluğu anlamına gelmektedir. Bir başka deyişle 4.5 metrede bir klasik yöntem ile veri toplanmıştır. Klasik olarak bir arazide bu sıklıkla veri toplanması hem maliyet hem de zaman açısından dezavantajlı olmaktadır. İHA fotogrametrisi ile ise bu alana ait ~2.5 milyon nokta verisi üretilerek 890 nokta/ m² nokta yoğunluğu anlamına gelmekte olup daha fazla bir yüzey yoğunluğu elde edilmektedir. Zaman olarak ise klasik yöntemle çalışmada kullanılan test alanı için (139 nokta) veri toplanması uzman bir operatör ile yaklaşık yarım saat zaman almaktadır. Maden sahalarında ise genel olarak on hektarlık bir arazide çalışma yapılacağı düşünülürse böyle bir alanın klasik olarak verilerinin bu sıklıkla (4.5 metrede bir) elde edilmesi yaklaşık dört gün alabilmektedir. Bu durum hem zaman açısından hem de maliyet açısından oldukça dezavantajlı olabilmektedir. Böyle bir alan için ise İHA fotogrametrisi ile yüksek yoğunlukta nokta verisi üretilmesi için görüntü verilerinin toplanması ve dijital ürünlerin hazırlanması bilgisayar performansına bağlı olarak yaklaşık iki gün sürmektedir. Bu da maden sahalarında hacim hesapları işlemlerinde İHA fotogrametrisi yönteminin zaman ve maliyet açısından avantajını göstermektedir.

Çalışma sonucunda İHA fotogrametri sürecinin uygulandığı Agisoft Metashape ve 3B görselleştirme ve fotogerçekçi bir model oluşturmaya olanak sağlayan Virtual Surveyor yazılımlarından ayrı ayrı hacim hesabı yapılmıştır. Jeodezik veriler kullanılarak hesaplanan referans verisi ile Agisoft Metashape ve Virtual Surveyor hacim değerleri sırasıyla %97.64 ve %95.45 oranında doğrulukla hesaplanmıştır. Sonuçlardan anlaşıldığı üzere İHA fotogrametrisi özellikle kazı miktarının fazla olduğu açık maden sahalarında beklenen doğruluğu sağlayabilir. Aktif maden ocaklarında değişimlerin takip edilmesi ve kazı aşamalarının planlanması için fotogrametri yöntemi birçok yönden avantajlıdır. Ayrıca Virtual Surveyor gibi fotogerçekçi gösterimlerin tasarlanabildiği yazılımlar sayesinde kazı aşamaları daha kolay ve sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Alptekin, A., Yakar, M., 2020. Determination of pond volume with using an unmanned aerial vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 59-63.
- Anderson, K., Westoby, M.J., James, M.R., 2019. Low-budget topographic surveying comes of age: Structure from motion photogrammetry in geography and the geosciences. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(2), 163-173.
- Barbero-García, I., Lerma, J. L., Mora-Navarro, G., 2020. Fully automatic smartphone-based photogrammetric 3D modelling of infant's heads for cranial deformation analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 166, 268-277.
- Bemis, S.P., Micklethwaite, S., Turner, D., James, M.R., Akciz, S., Thiele, S.T., Bangash, H.A., 2014. Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. *Journal of Structural Geology*, 69, 163-178.
- Bot, J. A., Irschick, D. J., Grayburn, J., Lischer-Katz, Z., Golubiewski-Davis, K., Ikeshoji-Orlati, V., 2019. Using 3D photogrammetry to create open-access models of live animals: 2D and 3D software solutions. 3, 54-72.
- Bui, X.N., Lee, C., Nguyen, Q.L., Adeel, A., Cao, X.C., Nguyen, V.N., Le V.C., Nguyen H., Le Q.T., Duong, T.H., Nguyen, V.D., 2019. Use of unmanned aerial vehicles for 3D topographic mapping and monitoring the air quality of open-pit mines. *Inżynieria Mineralna*, 21.
- Can, F., Polat, A.B., Akçay, Ö. 2022. Açık Maden Ocağının Fotogrametrik Yöntem ile Geometrik ve Spektral Analizi: Bigadiç Bor Maden İşletmesi Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (1), 175-186.

- Carrivick, J.L., Smith, M.W., 2019. Fluvial and aquatic applications of Structure from Motion photogrammetry and unmanned aerial vehicle/drone technology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(1), e1328.
- Chiabrande, F., Donadio, E., Rinaudo, F., 2015. SfM for orthophoto to generation: A winning approach for cultural heritage knowledge. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(5), 91.
- Demir, B. G., Güngör, N., 2013. Mermer Madenciligi ve Çevre. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 5(20), 7-14.
- Dietrich, J.T., 2017. Bathymetric structure-from-motion: Extracting shallow stream bathymetry from multi-view stereo photogrammetry. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(2), 355-364.
- Egels, Y., Kasser, M., 2001. *Digital photogrammetry*. CRC Press.
- Eker, R., Aydın, A., 2021. Long-term retrospective investigation of a large, deep-seated, and slow-moving landslide using InSAR time series, historical aerial photographs, and UAV data: The case of Devrek landslide (NW Turkey). *Catena*, 196, 104895.
- Erener, A., 2011. Remote Sensing of Vegetation Health For Reclaimed Areas of Seyitömer Open Cast Coal Mine. *International Journal of Coal Geology*, 86: 20-26.
- Fonstad, M.A., Dietrich, J.T., Courville, B.C., Jensen, J.L., Carbonneau, P.E., 2013. Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth surface processes and Landforms*, 38(4), 421-430.
- Glendell, M., McShane, G., Farrow, L., James, M.R., Quinton, J., Anderson, K., Evans, M., Benaud, P., Rawlins, P., Morgan, D., Jones, L., Kirkham, M., Quine, T.A., Lark, M., Rickson, J., Brazier, R.E., 2017. Testing the utility of structure-from-motion photogrammetry reconstructions using small unmanned aerial vehicles and ground photography to estimate the extent of upland soil erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(12), 1860-1871.
- Gül Y., 2019. Açık maden işletmelerinde insansız hava aracı (İHA) uygulamaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 62(1), 99-112.
- Hamal, S. N. G., Sarı, B., Ulvi, A., 2020. Using of hybrid data acquisition techniques for cultural heritage a case study of pompeopolis. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 55-60.
- İncekara, A. H., Delen, A., Bakırman, T., Bayram, B., Şeker, D. Z., 2018. Açık Maden Saha Sınırlarının Piksel Tabanlı ve Nesne Tabanlı Sınıflandırma Teknikleri İle Çıkarımı. VII. Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu, 18-21 Eylül 2018, Eskişehir.
- Kun M., Özcan, B., 2019. Maden ocaklarında insansız hava aracı kullanımı: örnek bir saha çalışması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 554-564.
- Linder, W., 2009. *Digital photogrammetry*. Berlin, Germany: Springer.
- Paul, D., Banks, G., Ballard, C., Gillieson, D., 2006. Monitoring the Environmental Impact of Mining in Remote Locations through Remotely Sensed Data. *Geocarto International*, 21(1): 33-42.
- Sarı, B., Hamal, S. N. G., Ulvi, A., 2020. Documentation of complex structure using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry method and Terrestrial Laser Scanner (TLS). *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(2), 48-54.
- Schenk, T., 2005. Introduction to photogrammetry. The Ohio State University, Columbus, 106.
- Tong, X., Liu, X., Chen, P., Liu, S., Luan, K., Li, L., Liu, S., Liu, X., Xie, H., Jin, Y., Hong, Z., 2015. Integration of UAV-based photogrammetry and terrestrial laser scanning for the three-dimensional mapping and monitoring of open-pit mine areas. *Remote Sensing*, 7(6), 6635-6662.
- Ulvi, A., 2021. Documentation, Three-Dimensional (3D) Modelling and visualization of cultural heritage by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners. *International Journal of Remote Sensing*, 42(6), 1994-2021.
- Ulvi, A., Toprak, A.S., 2016. Investigation of three-dimensional modelling availability taken photograph of the unmanned aerial vehicle; sample of kanlidivane church. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 1(1), 1-7.
- Uysal, M., Toprak, A.S., Polat, N., 2015. DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill. *Measurement*, 73, 539-543.
- Vincent, C., Wagnon, P., Shea, J.M., Immerzeel, W.W., Kraaijenbrink, P., Shrestha, D., Soruco, A., Arnaud, Y., brun, F., Berthier, E., Sherpa, S. F., 2016. Reduced melt on debris-covered glaciers: investigations from Changri Nup Glacier, Nepal. *The Cryosphere*, 10(4), 1845-1858.
- Woodget, A. S., Carbonneau, P. E., Visser, F., & Maddock, I. P. (2015). Quantifying submerged fluvial topography using hyperspatial resolution UAS imagery and structure from motion photogrammetry. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(1), 47-64.
- Xiang, J., Chen, J., Sofia, G., Tian, Y., Tarolli, P., 2018. Open-pit mine geomorphic changes analysis using multi-temporal UAV survey. *Environmental earth sciences*, 77(6), 1-18.
- Yadigar, E., Toptani, A.R, Gül, S., 2014. Mevzuat Kapsamında Mermer Sahalarının Rehabilitasyonu, Ulusal Mermer ve Taş Ocakları Onarım Teknikleri Sempozyumu, Bildiriler kitabı, 9-17., Isparta.
- Zhang, H., Aldana-Jague, E., Clapuyt, F., Wilken, F., Vanacker, V., Van Oost, K., 2019. Evaluating the potential of post-processing kinematic (PPK) georeferencing for UAV-based structure-from-motion (SfM) photogrammetry and surface change detection. *Earth Surface Dynamics*, 7(3), 807-827.
- URL-1. <https://mapeg.gov.tr/Custom/Madenistatistik>
- URL-2. <https://mapeg.gov.tr/Uploads/MadenHaritaStandartlari/MAPEG%20HAR%C4%B0TA%20STANDARTLARI.pdf>



ÜRÜN GÜVENLİĞİ DENETİMİNDE UYGULANAN İDARİ PARA CEZALARININ TESPİTİ İÇİN AHP TEMELLİ BİR MODEL ÖNERİSİ

Mevlüt Hürol METE*, Kağan KARADEMİR

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Piyasa Gözetimi ve Denetimi,
Ürün Güvenliği,
İdari Para Cezaları,
Analitik Hiyerarşi Prosesi,
Üssel Yöntem.*

Öz

Çalışma kapsamında, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı sorumluluğunda yürütülen piyasa gözetimi ve denetimi faaliyetleri sonucunda, ilgili yasal yükümlülüklerine uymayan sorumlulara karşı uygulanan idari para cezaları incelemeye konu edilmiştir. Bu kapsamda, piyasanın düzenlenmesi, ürün güvenliğinin sağlanması ve haksız rekabetin önlenmesi için yükümlülüklerini yerine getirmeyen sorumlulara karşı caydırıcı bir araç olarak kullanılan idari para cezası tutarlarının bilimsel şekilde hesaplanması amacıyla kurgusal bir model geliştirilmiştir. Çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden derinlemesine görüşme ve odak grup görüşmeleri vasıtasıyla idari para cezasına etki ettiği düşünülen kriterler belirlenmiş ve gruplandırılmıştır. Tespit edilen kriterlere ilişkin Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) tekniği ile kriter ağırlıkları belirlenerek çalışma kapsamında üssel yöntem yaklaşımı olarak belirlenen hesaplama ile model kurgusu tamamlanmış ve test edilmiştir. Geliştirilen model ile idari yaptırıma konu olan ürünler ve bunları piyasaya arz eden firmalar belirli faktörler çerçevesinde puanlanabilmektedir. Bu puanlar aracılığıyla herhangi bir vaka karşısında ceza uygulayıcısının referans alabileceği bir hesaplama yöntemi geliştirilerek İPC tutarının tayininde kullanılabilecek bir model önerilmiştir.

PROPOSAL OF AN AHP-BASED MODEL FOR THE DETERMINING ADMINISTRATIVE FINES APPLIED IN PRODUCT SAFETY INSPECTION

Keywords

*Market Surveillance and
Inspection,
Product Safety,
Administrative Fines,
Analytical Hierarchy Process,
Exponential Method.*

Abstract

Within the scope of the study, as a result of market surveillance and inspection (MSI) activities carried out under the responsibility of the Ministry of Industry and Technology (MoIT), the administrative fines applied against those responsible who do not comply with their relevant legal obligations are the subject of the study. In this context, a model has been developed in order to scientifically calculate administrative fines, which are used as a deterrent against those responsible for not fulfilling their obligations in order to regulate the market, ensure product safety and prevent unfair competition. In the study, the criteria that are thought to affect the administrative fine were determined and grouped through in-depth interviews and focus group interviews, which are qualitative research methods. The criterion weights were determined with the Analytical Hierarchy Process (AHP) technique regarding the determined criteria, and the model setup was completed with the calculation determined as the exponential method approach within the scope of the study, and the model in question was tested. With the model developed, the products subject to administrative sanction and the firms that supply these to the market can be scored within the framework of certain factors. By means of these scores, a calculation method that the authorized institution can refer to in any case has been developed and a model that can be used in the determination of the administrative fine amount has been proposed.

Alıntı / Cite

Mete, M.H., Karademir, K. (2023). Ürün Güvenliği Denetiminde Uygulanan İdari Para Cezalarının Tespiti için AHP Temelli Bir Model Önerisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11 (1), 236-253.

* İlgili yazar / Corresponding author: hurol.mete@sanayi.gov.tr, +90-312-201-5635

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
M.H. Mete, 0000-0002-7288-3434	Başvuru Tarihi / Submission Date	01.07.2022
K. Karademir, 0000-0002-2180-0299	Revizyon Tarihi / Revision Date	06.11.2022
	Kabul Tarihi / Accepted Date	08.11.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

PROPOSAL OF AN AHP-BASED MODEL FOR THE DETERMINING ADMINISTRATIVE FINES APPLIED IN PRODUCT SAFETY INSPECTION

Mevlüt Hürol METE[†], Kağan KARADEMİR,
Ministry of Industry and Technology, Ankara, Türkiye

Highlights

- Market Surveillance and Inspection (MSI) aims to ensure that products comply with the relevant technical regulations and are safe for consumers.
- Administrative fines are measures taken against unsafe and non-conforming products detected during field inspections. However, there is uncertainty about how much fine will be imposed in which case and there are many factors affecting the amount of administrative fines.
- The factors to be used in the model designed for determining administrative fines are grouped under four headings: Risk level, firms's past MSI records, firm size and product specifications. Then AHP technique was used to weight the factors and test the proposed model.

Purpose and Scope

It is aimed to develop a practical and easily applicable model for the determination of administrative fines in order to increase the effectiveness of MSI activities. The study analyses the criteria affecting administrative fines in MSI activities carried out under the responsibility of the MoIT, determines the criteria weights with the AHP technique and builds a model with the exponential method approach for the calculation of administrative fines. The model is tested with random observations and real case studies and the benefits of the model are analyzed.

Design/methodology/approach

The study uses qualitative research methods including in-depth interviews and focus group discussions to collect primary data from managers, experts and auditors working in the MoIT. The data obtained from the interviews were then analyzed using the AHP technique and the weights of the identified factors were determined.

Findings

The study presents a model based on risk analysis in determining administrative fines which is one of the market regulation tools. The scoring of the factors categorized under four different headings will facilitate the implementation of market surveillance activities.

Research limitations/implications

The limitation of the research is that a similar methodology is not followed by other competent authorities conducting MSI activities in different product groups other than MoIT. Therefore, it was not possible to compare the model obtained with other studies conducted in the field. Another limitation is that the method used to determine the weight scores of the factors considered within the scope of the model was carried out with a limited sample of participants.

Practical Implications

The study can contribute to more effective market regulation, product safety and fair competition by providing a scientific approach to the calculation of administrative fines. The model can also help regulatory bodies, including the MoIT, to apply fines in a more consistent, objective and fair manner.

Social Implications

The study demonstrates the importance of taking into account various objective criteria in determining administrative fines, which may lead to the development of more comprehensive policies. Therefore, it may also lead to the development of more detailed regulatory procedures for administrative fines. Furthermore, the research can inform public and sector policy on administrative fines, risk analysis and product safety.

[†] Corresponding author: hurol.mete@sanayi.gov.tr, +90-312-201-5635

Originality

The concept of MSI is mostly dealt with product-specific in the literature and that there are no detailed studies on public practices reveals that the study is the first study in the field. In addition, it is the first study in which scientific methods are followed regarding the implementation of administrative fines for MSI activities.

1. Giriş (Introduction)

Yirmi birinci yüzyılın ikinci yarısında yaşanan teknolojik gelişmeler ve siyasi konjonktüre bağlı olarak ülkeler arasındaki fiziksel sınırların ortadan kalkmaya başlaması ile birlikte uluslararası ticaret hacimlerinde ciddi artışlar görülmüştür. Bu duruma paralel olarak özellikle Avrupa Birliği ve benzeri topluluklar, “malların serbest dolaşımı” yaklaşımını benimsemeye başlamış ve bu bağlamda ürün güvenliğinin tesis edilmesi amacıyla Piyasa Gözetimi ve Denetimi (PGD) faaliyetleri ön plana çıkmıştır.

PGD ve ürün güvenliği kavramları, 1950’li yıllardan sonra özellikle ülkeler arası ekonomik entegrasyonun hız kazandığı dönemde önem kazanmaya başlamıştır. PGD ile ürün güvenliği kavramları Türkiye’nin gündemine ise Avrupa Birliği (AB) ile ilişkilerin başlamasıyla girmiştir. Türkiye’nin AB ile ilişkileri, Avrupa Ekonomik Topluluğu ile 12 Eylül 1963 tarihinde imzalanan ve 1 Aralık 1964 tarihinde yürürlüğe giren Ankara Anlaşması’nın temelini oluşturduğu ortaklık rejimi çerçevesinde başlamıştır (Topalömer, 2016).

1996 yılında ülkemizin Avrupa Gümrük Birliği’ne dahil olması ile birlikte ulusal mevzuatın uyumlaştırılması ihtiyacı hasıl olmuştur. Bu kapsamda öncelikle 2002 yılında doğrudan ürün güvenliği ve PGD faaliyetlerine dayanak teşkil eden 4703 sayılı “Ürünlere İlişkin Teknik Mevzuatın Hazırlanması ve Uygulanmasına Dair Kanun” yürürlüğe girmiş, izleyen yıllarda özellikle PGD faaliyetlerinde değişen süreçlere ilişkin ihtiyacı karşılayamaması üzerine 2021 yılında 7223 sayılı *Ürün Güvenliği ve Teknik Düzenlemeler Kanunu* yürürlüğe girmiştir. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (STB), Türkiye’de PGD faaliyetleri kapsamında tanımlanan dokuz farklı yetkili kuruluştan biri olup, 1 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesine göre de sanayi ürünlerine yönelik idari ve teknik düzenlemeleri hazırlamakla görevlendirilmiştir (GÜBİS, 2022).

STB tarafından yürütülen PGD faaliyetlerinde, ürün güvenliği mevzuat hükümleri kapsamında yükümlülüklerini yerine getirmeyen sorumlulara ilişkin yürütülen idari yaptırım uygulamaları önem arz etmektedir. Söz konusu yaptırımlardan idari para cezaları (İPC) maddi nitelikteki yaptırım araçlarından biri olmakla birlikte söz konusu cezaların belirlenmesinde Kabahatler Kanunu esas alınmaktadır. PGD faaliyetleri sonucunda mülga 4703 sayılı Kanuna veya yürürlükteki 7223 sayılı Kanuna aykırı hareket edenler hakkında uygulanması öngörülen idari para cezası miktarları alt ve üst sınırlar dahilinde tespit edilmiştir. Kabahatler Kanunu’na göre idare tarafından verilecek idari para cezasının alt ve üst sınırı belirlenirken; işlenen kabahatin haksızlık içeriği, failin kusuru ve ekonomik durumunun birlikte göz önünde bulundurulması esastır (Aslan, 2014). Buna karşın sahada yürütülen PGD faaliyetleri sonucunda çok farklı senaryolar ortaya çıkabilmektedir. İşin doğası gereği idari para cezalarının uygulanmasında konunun birden fazla tarafı bulunmaktadır. Herhangi bir uygunsuzluk tespiti durumunda tespiti yapan il müdürlüğü, STB merkez teşkilatı ve üretici/dağıtıcı/ithalatçı firma ilgili tarafları oluşturmaktadır. Bu noktada cezanın hangi tutarda uygulanacağı konusunda birden fazla kriter gündeme gelebilmektedir. Bu kriterlerin önemi vakadan vakaya değişmekle birlikte il müdürlüğünün değerlendirmeleri ceza miktarının belirlenmesinde rol oynamaktadır. İPC miktarının belirlenmesi aşamasında Kabahatler Kanunu’nda belirtilen faktörlerin göz önünde bulundurulmadığını söylemek mümkündür. Zira çalışma kapsamında yürütülen derinlemesine ve odak grup görüşmelerinde, mevcut durumda cezaların çok büyük oranda alt sınırdan uygulandığı tespit edilmiştir.

STB sorumluluğundaki denetime konu ürün grubu sayısının fazla olması nedeniyle aynı il müdürlüğü tarafından asansörden otomotive, basınçlı ekipmanlardan elektrikli ürünlere, gaz yakan cihazlardan makinelere kadar çok geniş bir ürün yelpazesine yönelik idari yaptırımlar söz konusu olabilmektedir. Bu ürünlerin taşıdığı güvenlik riskleri veya uygunsuzluklar da farklılaşabilmektedir. Örneğin bireysel kullanıma yönelik adaptör gibi bir ürünün taşıdığı risk ile bir binanın kullanımındaki büyük bir buhar kazanının riskinin birbirinden ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. Yine piyasaya milyonlarca adet arz edilmiş bir ampulün taşıdığı riskler nedeniyle yol açabileceği olumsuzlukların etki alanı ile profesyonel kullanım için özel olarak üretilmiş bir makinenin etki alanı birbirinden farklıdır. Aynı ürün söz konusu olsa bile piyasadaki yaygınlık durumlarının farklılıkları nedeniyle de idari para cezası tutarlarının buna göre hesaplanması gerekebilmektedir. Örneğin yerel bir firma tarafından üretilmiş olup sadece bir ilde piyasaya arz edilmiş bir ürünü başka bir üretici büyük hacimlerde piyasaya sürerek ülkedeki tüm zincir marketlerde veya e-ticaret sitelerinde tüketicinin kolayca erişilebileceği şekilde arz edebilir. Ürünün piyasadaki yaygınlığı da İPC’nin adil şekilde belirlenmesinde önemlidir. Bunun yanında piyasaya arz eden aktörün üretici, ithalatçı veya dağıtıcı olmasına göre farklı durumlarla karşılaşabilmektedir. Bazı ürün gruplarında birkaç büyük üretici sektörün regüle edilmesinde önemli roller oynayabilmekte, ürün üzerindeki bir uygunsuzluk piyasadaki fiyat algısını veya standartları etkileyebilmektedir.

Dolayısıyla firma büyüklüğü, firmanın geçmiş denetim verileri, ürünün güvenli hale getirilmesine yönelik firmanın yaklaşımı vb. unsurlar da yine İPC'nin adil ve caydırıcı şekilde belirlenmesinde önemli faktörlerdir.

Dolayısıyla PGD faaliyetlerinin etkililiğinin artırılması ve piyasada haksız rekabetin önlenmesi amacıyla idari para cezalarındaki adaletin ve caydırıcılığın sağlanması için İPC tutarının belirlenmesine rehberlik edecek kolay uygulanabilir bir çalışma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, STB denetçilerinin PGD faaliyetleri kapsamında uygulayacakları idari para cezaları için bir model önerilmiştir. Uygulanacak ceza miktarlarına etki eden faktörlerin belirlenmesinde, STB'nin deneyimli yönetici ve çalışanları ile gerçekleştirilen derinlemesine görüşme ve odak grup görüşmeleri sonucu alınan geri bildirimler, yaşanan sorunlara ilişkin tecrübeler ve geçmiş PGD verileri göz önünde bulundurulmuştur. Yürütülen çalışmanın temel amacı, PGD faaliyetleri kapsamında gerekli sorumluluklarını yerine getirmeyen taraflara yönelik caydırıcı bir araç olarak kullanılan idari yaptırım uygulamalarından idari para cezalarına ilişkin tutarların belirlenmesinde, mevcut yasal mevzuatın ruhuna uygun ve bilimsel yaklaşımı esas alan bir İPC modelinin geliştirilmesidir.

Çalışmanın ikinci bölümünde kavramsal çerçeve sunularak, PGD faaliyetleri açıklanmış, idari para cezası kavramı tanıtarak ulusal mevzuat açısından değerlendirmesi yapılmıştır. Üçüncü bölümde, ele alınan veri seti, veri setinin incelenmesinde kullanılan metodoloji ve analizlere yer verilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise elde edilen bulgular ışığında çalışma çıktısı olarak sunulan kurgusal idari para cezası modeli hesaplama adımları ve model çıktılarına ilişkin sonuçlar paylaşılmış ve sonuç bölümünde ele alınan konulara bilimsel dayanak oluşturulmuştur.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

2.1. Piyasa Gözetimi ve Denetimi (Market Surveillance and Inspection)

Piyasa Gözetimi ve Denetimi (PGD), ürünlere dair kamu otoritesince belirlenmiş teknik gereksinimlere uygunluğunun değerlendirmesi ve denetlenmesi faaliyeti olarak tanımlanmaktadır (Gerek vd., 2012). PGD faaliyeti kapsamında hedeflenen genel amaç, tüketicilerin güvensiz ürünlerden korunması ve piyasaya ürün arz eden aktörlerin yürürlükte bulunan mevzuat hükümleri kapsamında uygun ve güvenli ürün arz etmesine ilişkin yasal yükümlülükler bağlamında izlenmesidir.

PGD kavramı ulusal mevzuatımıza AB müktesebatı uyumlaştırma çalışmaları sonucunda girmiş olup, temel olarak tüketicinin, kamu sağlığının ve çevrenin korunması, ürün güvenliği, teknik düzenlemelere uyumluluğun kontrolü ile AB dışından (üçüncü ülkelerden) ithal edilen ürünlerin bu çerçevede kontrolünü içermektedir. Diğer bir ifade ile PGD, bir ürünün güvenlik gereklerini, ilgili teknik düzenlemesinde gösterildiği şekilde karşılayıp karşılamadığının belirlenmesi demektir (Aslan, 2014).

PGD, temelde iki farklı yaklaşımı içinde barındıran genel bir tanımlamadır. Piyasa gözetimi ve piyasa denetimlerinden oluşan bu yaklaşım temelde güvensiz ürünlerin piyasadaki bertaraf edilmesine hizmet ederken ilgili yaklaşımların uygulayıcıları arasında farklılıklar bulunmaktadır. Piyasa gözetimi, yetkili kuruluşlarca yürütülebilmekle birlikte ilgili faaliyetlerde bulunan aktörler çeşitlendirilebilir. İhbar ve şikayet durumları üzerinden tüketiciler, kullanıcılar, üreticiler, dağıtıcılar vb. pek çok paydaş piyasada ilgili yasal düzenlemelere aykırı ürünleri tespit edebilmekte ve yetkili kamu otoritesini yönlendirebilmektedir. Nitekim özellikle piyasa gözetimi faaliyetleri üzerinden üçüncü taraflarca yapılan yönlendirmelerde güvensiz ürünlerin daha isabetli şekilde tespit edildiği denetim faaliyetlerinin incelenmesi sonucu ortaya konulmaktadır. Bir diğer yaklaşım ise Piyasa denetimi faaliyetleri olup söz konusu faaliyetlerde doğrudan yetkili kuruluş süreçleri yürütmektedir. Denetim faaliyetleri sonucunda güvensiz ürünün tespit edilebilmesi amacıyla test ve muayene süreçleri işletilmekte ve elde edilen bulgular ışığında güvensiz olduğu tespit edilen ürünlere ilişkin idari yaptırımlar uygulanmaktadır (Gök, 2014).

PGD, birkaç aşamadan oluşan genel bir süreci barındırmaktadır. Yetkili kamu otoritesi, denetime konu ürünlerin tespit edilmesinde, ürün gruplarının ve risk faktörlerinin önem sırasına göre belirlendiği bir stratejik plan hazırlamakta ve söz konusu plan çerçevesinde duyuşal inceleme faaliyetleri yürütmektedir. Bu kapsamda, ürün üzerinde etiket, işaret ve belge kontrolü gibi bazı temel gereksinimler kontrol edilir. Güvensizlik şüphesine ilişkin bulgulara istinaden gerekli hallerde numune alarak test ve muayene süreçlerini işletir. Test ve muayene sonucu güvensiz olduğu tespit edilen ürünlere ilişkin olarak ise mevzuatta öngörülen idari yaptırım tedbirlerinden gerekli olanları uygular. Tüketici can ve mal güvenliğinin korunması amacıyla yönelik yürütülen işlemler sonucunda uygulanan tedbirlerin kamuoyuyla paylaşılması yine PGD sürecinin önemli ayağını oluşturmaktadır (Borluk, 2020). PGD faaliyeti, yalnızca güvensiz ürünle ilişkili bir faaliyetin ötesinde aynı zamanda ürünün belirli standartlarını tanımlayan ve tüketicilere ürüne ilişkin yürütülen süreçler hakkında bilgi veren işaret ve belgelere

ilişkin yürütülen denetimleri de kapsamaktadır. Bu bağlamda ürünün güvenli olmasına rağmen teknik düzenlemeye aykırılıklar barındırması da PGD kapsamında idari yaptırımlara konu olabilmektedir (Kaman, 2018).

Türkiye’de PGD faaliyetlerinin hukuki dayanağını, 4703 sayılı Ürünlere İlişkin Teknik Mevzuatın Hazırlanması ve Uygulanmasına Dair Kanun oluşturmaktaydı. AB mevzuatındaki gelişmeler ve Türkiye’nin ihtiyaçları doğrultusunda 4703 sayılı Kanun’un yenilenmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu kapsamda, 4703 sayılı Kanun’un yerine geçmek üzere 12.03.2020 tarihli ve 7223 sayılı Ürün Güvenliği ve Teknik Düzenlemeler Kanunu, 12.03.2021 tarihi itibarıyla yürürlüğe girmiş ve 4703 sayılı Kanun’u yürürlükten kaldırmıştır (Ateş, 2021). 4703 sayılı Kanunda PGD kavramı; *“Yetkili kuruluşlar tarafından, ürünün piyasaya arzı veya dağıtımı aşamasında veya ürün piyasada iken ilgili teknik düzenlemeye uygun olarak üretilip üretilmediğinin, güvenli olup olmadığının denetlenmesi veya denetletirilmesi”* şeklinde açıklanmıştır.

Söz konusu tanım, bahse konu ürünlerin mevcut teknik yasal yükümlülüklerine uygun ve güvenli şekilde piyasaya arz edilmesine ilişkin hükmü açıklarken ilgili Kanun’da aynı zamanda güvenli olmayan ürünlerin güvenli hale getirilmesi için ve gerekli hallerde uygulanacak idari yaptırımlara da yer verilmiştir. 7223 Sayılı Kanun’da ise PGD kavramı *“Ürünlerin ilgili teknik düzenlemesi veya genel ürün güvenliği mevzuatında belirtilen gereklere uygun olmalarını sağlamak ve bu mevzuat kapsamında yer alan kamu yararını korumak amacıyla yetkili kuruluşlar tarafından yürütülen faaliyetler ve alınan tedbirler”* şeklinde tanımlanmıştır.

Yeni kanun ile birlikte ürün güvenliğine ilişkin kavram genişletilerek doğrudan aktörlerin tanımlanması yerine PGD sürecinin esas tanımlamaya dahil edilmiştir. Ayrıca kamu yararı kavramının tanımlamaya eklenmesi ile birlikte yalnızca güvenli ürün kavramının ötesinde kamusal zarara neden olan her türlü durum PGD faaliyetleri ile ilişkilendirilmiştir. Nitekim yeni kanun ile birlikte yükümlülüklerini yerine getirmeyen sorumlulara uygulanacak idari yaptırımlar ve ürünün uygunluğunda ilişkin süreçler detaylandırılmıştır.

2.2. İdari Para Cezası Kavramı (The Concept of Administrative Fine)

Hukuksal doktrinde “kabahat” kavramının esasen cezaya konu bir unsur olmasından ayırmak ve kabahatleri ceza kanunlarının dışında bırakabilmek amacıyla farklı hukuki düzenlemelerde belirli fiiller için idari yaptırımlar uygulanabilmektedir. Söz konusu fiillerin karşılığında uygulanan yaptırımların parasal boyutta olan yaptırım türlerine “İdari Para Cezası” (İPC) denilmektedir ve burada temel amaç söz konusu kavramı adli cezalardan ayırmaktır (Çobanoğlu, 2017). Yapılan denetimler esnasında tespit edilen güvensiz ve uygunsuz ürünlere yönelik çeşitli tedbirler alınmaktadır. Bu tedbirlerden birisi de “idari yaptırım kararı” olup söz konusu karar neticesinde ilgili ürünün piyasaya arzında faaliyet gösteren sorumlulara İPC uygulanabilmektedir. İPC’lerin temel amacı piyasaya güvensiz ve uygunsuz ürün arzını sağlayan taraflara uygulanmak suretiyle caydırıcılık sağlamaktır (Aslan, 2014).

Temel olarak İPC uygulamaları mevcut idari düzenin korunması amacıyla uygulanmaktadır. Bu kapsamda ilgili idare mevcut düzenin varlığını korumak veya fiillere bağlı olarak kaybolan düzenin olması gereken haline getirmek amacıyla pek çok hak ve yetkiyi kullanmaya haizdir. Bu şekilde sorumlular düzen içinde göstermiş oldukları ihmalkarlıklarına ilişkin uyarılmakta ve düzene davet edilmektedirler (Çoban, 2009). Elbette literatürde İPC kavramını açıklayan benzer yaklaşımlar altında pek çok farklı tanımlama bulunmaktadır. Mevcut idari düzen bağlamında, aykırılık gösteren fiillere yönelik kanunların belirlediği sınırlar içinde, idarenin yargı mercilerine başvurmadan doğrudan kendi eliyle uygulayabildiği ve parasal bir karşılık şeklinde uygulanan mali özellikteki idari yaptırımları İPC olarak tanımlamak mümkündür.

Bu kapsamda özellikle İPC’ye konu teşkil eden dayanak kanun Kabahatler Kanunda (URL-1) bir idari yaptırım türü olarak İdari Para Cezaları; *“...kabahatler karşılığında uygulanacak idari yaptırımlar; idari para cezası ve idari tedbirlerden ibarettir...”* şeklinde tanımlanmıştır. Söz konusu Kanun’da İPC’lerin maktu ve nispi olarak uygulanabileceği hüküm altına alınırken temel olarak İPC’lerin belirli bir kabahate konu olduğunu ve ilgili kabahate ilişkin Kanun’da belirtilen sınırlar içinde idarenin takdir yetkisiyle yaptırım uygulandığına vurgu yapılmıştır.

İdari para cezaları, gerçekleştirilen kabahatin boyutu veya sorumlunun ekonomik durumunda bağımsız olarak doğrudan sabit meblağ olarak belirlenebileceği gibi alt ve üst aralıklı cezaların uygulandığı durumlarda verilen zararın boyutu, sorumlunun kusur boyutu ve ekonomik durumu ceza miktarını belirlenmesinde esas alınmaktadır (Mecit, 2015). İPC uygulamaları esas olarak sorumluların mal varlıklarına yöneltilmiş bir idari yaptırım türü olması hasebiyle kural olarak hapis cezasına veya başkaca bir ceza dönüştürülmezler (Çobanoğlu, 2017). Paraya dayalı cezalar, sorumlunun bir hukuk müeyyidesini ihlal etmesi sonucu idareye veya zarardan etkilenen bir kişiye yönelik tazminin dışında yarattığı kamusal zarara ilişkin ödemek zorunda kaldığı miktar olarak tanımlanabilir (Bardakçı, 2006).

İdari para cezaları pek çok farklı kabahate ilişkin kanuni dayanaklara göre uygulanan bir idari yaptırım türü olmakla birlikte STB sorumluluğunda yer alan sanayi ürünlerine yönelik gerçekleştirilen PGD faaliyetleri sonucu ilgili mevzuat hükümleri bağlamında uygunsuzluk veya güvensizlik tespit edilen durumlar için de uygulanabilmektedir. Kanunla idari para cezaları alt ve üst sınırlar dahilinde tespit edilmiştir. İdari para cezasının bu aralık içinde kalmak kaydıyla miktarının belirlenmesi ise idarenin takdirine bırakılmıştır.

5326 sayılı Kanun hükümleri incelendiğinde Kanun koyucunun idare tarafından uygulanacak idari para cezalarının belirlenmesi hususunda kriterler belirlediği görülmektedir. İdare, alt ve üst sınır içinde takdir yetkisini kullanmak suretiyle uyguladığı yaptırımlarda dahi birtakım nesnel kriterler içerisinde hareket etmekle yükümlüdür. İdare, alt ve üst sınır tespit edilmiş olması durumunda, idari para cezasının miktarını belirlerken; işlenen kabahatin haksızlık içeriğini, failin kusurunu ve ekonomik durumunu birlikte göz önünde bulundurur ve buna göre ceza uygulaması yapar. Bu nesnel kriterler idarenin takdir yetkisinin sınırlarını oluşturmaktadır. Ayrıca bu nesnel ölçütlerin nasıl değerlendirildiği de idari para cezası gerekçesinde gösterilir (Aslan, 2014). Dolayısıyla idari para cezası miktarının belirlenmesinde Kanunla belirlenmiş alt ve üst sınırlar bulunsa da hangi durumlarda hangi tutarın uygulanacağına ilişkin karar yetkili kuruluşa bırakılmıştır.

PGD faaliyetleri, yerli üreticilerimizin korunması ve piyasada adil rekabet ortamının sağlanması için de kullanılabilir önemli bir iktisadi araç niteliği taşımaktadır. Ayrıca, Türk ürünlerinin uluslararası piyasada marka imajını arttırmakta ve kayıt dışı ekonomiyle mücadeleye katkı sağlamaktadır (Mete, 2019). Bu bağlamda PGD faaliyetlerinde verimliliğinin sağlanması ile ekonomik anlamda birçok fayda sağlanabilecektir. Piyasadaki uygunsuzluğun azaltılması, güvensiz ürünlerin piyasadan uzaklaştırılması, haksız rekabetin önlenmesi için idari yaptırımlarda caydırıcılık unsuru çok önemlidir. Bu bağlamda idari para cezası miktarının belirlenmesinde ortaya konulan bu çalışma özgün ve yenilikçidir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (STB), sanayi ürünlerinin denetiminden sorumlu yetkili kuruluşlardan birisidir. 1.700'den fazla ürün grubunun denetimi STB sorumluluğunda yer almaktadır (Mete, 2019). Tüketicilerin daha güvenilir ürünlere ulaşabilmesi amacıyla STB tarafından yürütülen PGD faaliyetleri, piyasaların tüketici menfaatleri açısından regüle edilmesinde önemli bir araç olarak ön plana çıkmaktadır. Bu amaçla piyasaya ürün arz eden sorumluların tüketici sağlığını tehlikeye atan ürünleri piyasa arz etmesinin önlenmesi amacıyla geliştirilen çeşitli stratejiler ile programlar yürütülmekte olup tüm bu çalışmalar sonucunda gerekli standartları sağlayamayan ürünler piyasadaki uzaklaştırılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda sahada yapılan denetimler esnasında tespit edilen güvensiz ve uygunsuz ürünlere yönelik çeşitli tedbirler alınmaktadır. Bu tedbirlerden birisi de idari yaptırım kararı olup söz konusu karar neticesinde ilgili ürünün arzında faaliyet gösteren sorumlulara idari para cezası (İPC) uygulanabilmektedir.

İPC'nin temel amacı güvensiz ve uygunsuz ürün arzını gerçekleştiren taraflara uygulanmak suretiyle caydırıcılığın sağlanmasıdır. Kanun ve yönetmeliklere dayalı olarak gerçekleştirilen bu eylem, kanun koyucu tarafından uygunsuzluk ve güvensizliğin boyutları, güvensizlik ve uygunsuzluğun sebebi ile arz edenin sorumlulukları çerçevesinde farklı sınırlardan uygulanabilmektedir. STB tarafından yürütülen PGD faaliyetleri sonucunda belirli sınırlar içinde uygulanan söz konusu IPC'nin mevzuattaki hangi aralıktan uygulanacağı ilgili STB il müdürlüğüne kararlaştırılmaktadır.

İPC miktarının belirlenmesinde Kanunla belirtilen alt ve üst limitler bulunmasına rağmen hangi durumda hangi tutarın uygulanacağına ilişkin belirsizlik söz konusudur (Aslan, 2014). Bunun yanında idari para cezası miktarına etki eden çok sayıda faktör mevcuttur. Bu faktörlerin belirlenmesi için STB'nin merkez ve taşra teşkilatında görev yapan yönetici, uzman ve denetçilerle derinlemesine görüşmeler ve odak grup görüşmeleri gerçekleştirilmiştir. Bu görüşmelerden elde edilen bulgular ile IPC modeli kapsamında kullanılacak faktörler belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) tekniği ile faktör ağırlıklandırmaları gerçekleştirilmiştir.

3.1. İdari Para Cezasına Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi (Determining the Factors Affecting the Administrative Fine)

PGD kapsamında yürütülen faaliyetler sonucunda tespit edilen uygunsuzluk ve güvensizliklere ilişkin ilgili mevzuat hükümlerince çeşitli aralıklarda farklı ceza hükümleri işletilmektedir. Bu bağlamda her ne kadar cezalar arasında tutar anlamında farklılık olsa da idari para cezasının tayinine ilişkin yürütülen karar süreçleri aynı adımları barındırmaktadır. Uygunsuzluk ve güvensizliğe ilişkin durumlar arasındaki önem ise hali hazırda ceza sınırları ile zaten uygulamalara yansıtılmıştır. Bu noktada araştırma kapsamında ele alınan idari para cezalarının tutar hesaplamalarında bilimsel bir yaklaşım ortaya koyabilmek adına öncelikle IPC miktarına etki ettiği düşünülen faktörlerin belirlenmesi, söz konusu faktörlerin sayısal olarak herhangi bir denetçi veya ceza uygulayıcısı tarafından kolaylıkla puanlayabileceği sayıda faktöre indirgenmesi planlanmıştır.

İPC'nin uygulama alanına ilişkin olarak önceki yıllarda herhangi bir yetkili kuruluşça yayımlanmış bir yöntem bulunmamasıyla birlikte literatürde benzer bir çalışmaya da rastlanılmamıştır. Bu nedenle faktörlerin belirlenmesinde birincil verilerden yararlanılmış olup yöntem olarak ise nitel veri toplama araçlarından "Derinlemesine Görüşme" ve "Odak Grup Görüşmeleri" uygulanmıştır. Bu kapsamda gerek PGD'den sorumlu STB Metroloji ve Sanayi Ürünleri Güvenliği Genel Müdürlüğü personeli gerekse de STB taşra teşkilatlanmasında görevli ve PGD Denetçisi kimlik kartına sahip deneyimli denetçilerden oluşan farklı katılımcılar ile söz konusu görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Görüşmeler ışığında, farklı faktörlerin idari para cezası belirleme süreçlerinde ürün gruplarında bağımsız olarak sürece etki ettiği ve geliştirilecek kurgusal modelde göz önünde bulundurulması gerektiği tespit edilmiştir.

Nitel araştırmalar çoğunlukla; kişiler, gruplar, topluluklar ve durumlar arasında yer alan süreçleri konu almaktadır. Yürütülen çalışma ile bahsedilen aktörler ve bağlantılar üzerinden verinin toplanması ve elde edilen verilerin bilimsel verilere dönüştürülmesi nitel araştırmaların temelini oluşturmaktadır (Gülcan, 2021). Nitel araştırma yöntemlerinde, veri toplamak için bire bir görüşme, derinlemesine görüşme ve odak grup görüşmeleri gibi bazı yöntemler kullanılmaktadır. Nitel araştırma yöntemleri, tümevarımcı bir bakış ortaya koymakta olup olayları ve olguları mevcut ortamları içinde açıklama, araştırmaya iştirak edenlerin bakış açılarını anlamak ve iletmek üzerine kurgulanan bir araştırma yaklaşımıdır. Söz konusu araştırma yöntemlerinin doğal ortama duyarlı olması, araştırmacının katılımcı rolü olması, bütüncül bir yaklaşıma sahip olması, algıların ortaya konmasını sağlaması, araştırma deseninde esnekliği olması önemli özellikleridir (Çokluk vd., 2011).

İkincil veri ile çıkarımsal istatistiksel yöntemlerin uygulanamadığı ve ölçek veya model geliştirme süreçlerinde bir başlangıç noktasının oluşturulmasında sıklıkla nitel araştırma yöntemlerinin kullanılmasına zemin hazırlamaktadır. Bu çalışma bağlamında yöneltilen araştırma sorusu, STB tarafından yürütülen PGD faaliyetleri sonucunda uygulanan idari para cezası tutarlarının belirlenmesine etki eden faktörlerin neler olduğu ve bu faktörlerin bir model çerçevesinde nasıl değerlendirilebileceğidir. Bu kapsamda, geliştirilmesi öngörülen kurgusal modelin elemanlarını teşkil edecek kriterlerin belirlenmesinde nitel araştırma yöntemleri tercih edilmiştir.

3.1.1. Derinlemesine Görüşmeler (In-Depth Interviews)

Derinlemesine görüşme yöntemi, araştırma kapsamında incelenen konunun bütün boyutlarını kapsayan, sıklıkla açık uçlu soruların yer aldığı ve detaylı cevaplara ulaşılmasına imkan veren, yüz yüze ve birebir gerçekleştirilen bir veri toplama tekniğidir. Görüşme gerçekleştirilen kişinin bilgi, tecrübe ve deneyimleri üzerinden bilgiye erişim amaçlanmaktadır. Söz konusu yöntem sosyal bilimlerde geniş bir araştırma alanında kullanılmakta olup araştırma deseninin oluşturulmasında başlangıç noktasını oluşturmaktadır (Tekin ve Tekin, 2006). Çok genel anlamıyla derinlemesine görüşmeyi, görüşmeci ve katılımcı arasındaki bir beyin fırtınası olarak tanımlamak mümkündür.

Nitel araştırma yöntemleri kapsamında uygulanan derinlemesine görüşme, özellikle başlangıç aşamasında araştırma çerçevesinin belirlenmesinde ve ilerleyen aşamalarda uygulanacak odak grup görüşmelerine veri oluşturması açısından zamansal bağlamda ilk gerçekleştirilen görüşmelerdir. Bu duruma uygun olarak STB MSÜGGM bünyesinde görev yapan ve farklı ürün gruplarından sorumlu Daire Başkanı ve Sanayi Teknoloji Uzmanı unvanlı ve PGD Denetçi Kartına sahip sekiz ayrı katılımcı ile derinlemesine görüşme gerçekleştirilmiştir. Söz konusu görüşmelerde katılımcılardan İPC süreçlerine ve uygulama aşamalarına ilişkin detaylı bilgi edinilerek odak grup görüşmelerinde ele alınacak temel sorular belirlenmiştir.

Tablo 1. Derinlemesine görüşmelere ilişkin bilgi tablosu (Information table on in-depth interviews)

Katılımcı Grubu	Katılımcı Sayısı	Görüşme Yöntemi
Mevzuat Şube Personeli	1	Yüz yüze
Teknik Şube Personeli	3	Yüz Yüze
Teknik Şube Personeli	2	Çevrimiçi
Daire Başkanı	2	Çevrimiçi

Tablo 1'de sunulan her bir kategorik görüşme, esasında konunun çok boyutlu yönüyle farklı bakış açılarına sahip tarafların fikirlerinden faydalanmayı amaçlamaktadır. Söz konusu görüşmeler sonucunda İPC uygulamalarının teorik alt yapısı irdelenmiş ve odak grup görüşmeleri öncesinde ele alınmasında fayda görülen faktörlerin çerçevesi belirlenmiştir. Görüşmelerin devamında bir sonraki bölümde açıklanacak olan odak grup görüşmeleri gerçekleştirilmiştir.

3.1.2. Odak Grup Görüşmeleri (Focus Group Discussions)

Odak grup görüşmeleri çoğunlukla ortak deneyimlere ve özelliklere sahip 4 veya 12 katılımcı ve bir moderatör (yönlendirici) tarafından icra edilen, katılımcıların araştırma konusuna ilişkin gerçek fikirlerini saklama gereği duymadığı ve çok sesli bir ortamda veri toplama aracı olarak kullanılan bir tekniktir. Odak grup, niteliksel araştırma yöntemlerinde sıklıkla kullanılan bir veri toplama tekniğidir. Bu durumun temel nedeni, odak grup görüşmelerinin düşük maliyet barındırması, verilerin diğer yöntemlere görece hızlı elde edilmesi, uygun ortamda içerisinde güvenilir bilgiye ulaşılmasıdır (Gülcan, 2021).

Odak grup görüşmeleri, günümüze yakın dönemlerde sıklıkla eylem araştırmaları kapsamında yürütülen bir veri toplama tekniği olarak ön plana çıkmaktadır. Pazar araştırmaları kapsamında eğilim ölçmek amacıyla da yoğun bir şekilde kullanılan bu yöntem, sosyal bilimlerde başlangıç araştırması niteliğindeki çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sosyal bilimlerde birebir görüşmeler ve anketler ile birlikte kullanılsa da bu yöntem, aslında en sistematik veri toplama yöntemlerinden biridir (Şahin vd., 2009).

Bir önceki aşamada yürütülen derinlemesine görüşmeler sonucunda belirlenen sorular ışığında dört farklı tarihte farklı katılımcıların dahil olduğu odak grup görüşmeleri gerçekleştirilmiştir. Söz konusu görüşmelere Daire Başkanı, Sanayi Teknoloji Uzmanı, Mühendis unvanlarında yer alan Metroloji ve Sanayi Ürünleri Güvenliği Genel Müdürlüğü personeli ve taşra teşkilatı (il müdürlüğü) personeli katılım göstermiş olup tüm katılımcılar PGD Denetçi kartına sahip kişilerden oluşmaktadır. Odak grup görüşmelerine ilişkin katılım tarihleri ve katılım gösterenlerin dağılımına ilişkin bilgiler Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Odak grup görüşmelerine ilişkin bilgi tablosu (Information table on focus group discussions)

Katılımcı Grubu	Katılımcı Sayısı	Görüşme Yöntemi
Sanayi ve Teknoloji Uzmanları	8	Yüz yüze
Daire Başkanları	5	Yüz Yüze
Taşra Teşkilatı Personeli	12	Çevrimiçi
Karma Grup	12	Çevrimiçi

Söz konusu görüşmelerin bir kısmı gerek pandemi şartları sebebiyle gerekse lokasyon farklılıkları nedeniyle çevrimiçi olarak gerçekleştirilmiş olup söz konusu durumun odak grup görüşmeleri kapsamında yarattığı olası olumsuz etkiler göz ardı edilmiştir. Her bir görüşme kapsamında idari para cezası süreçlerinde gerçekleştirilen uygulamalar tartışılmış ve süreç içerisinde yaşanan sorunlar irdelenmiştir.

Çalışma kapsamında sunulması planlanan İPC tespitine ilişkin kurgusal modelde yer alması beklenen olası faktörlerinde belirlenmesinde derinlemesine görüşme ve odak grup görüşme teknikleri uygulanmıştır. Bu kapsamda PGD faaliyetlerinde yetkin ve İPC süreçlerine hakim olduğu bilinen STB personel ve denetçileri ile farklı tarihlerde gerçekleştirilen görüşmelere ilişkin bilgiler bu bölümde özet halinde paylaşılacak olup kişisel verilerin güvenliği açısından katılımcıların açık isimleri paylaşılmamaktadır.

3.2. Bulgular ve Önerilen Model (Findings and Proposed Model)

İdari para cezalarının uygulamasına ilişkin geliştirilmesi amaçlanan kurgusal modele faktör teşkil edecek kriterlerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen derinlemesine görüşme ve odak grup görüşmeleri kapsamında öncelikle herhangi bir gruplandırmadan bağımsız olarak kriterler belirlenmiştir. Nitel araştırma yöntemlerinin doğası gereği İPC uygulamaları etraflıca tartışılmış ve önem arz ettiği farklı katılımcılar ve grup çalışmalarında fikir birliği sağlanan kriterler Tablo 3’te listelenmiştir.

Gerçekleştirilen görüşmeler çerçevesinde Tablo 3’te listelenmeyen öneriler de dahil edildiğinde 60’tan fazla kriter farklı katılımcılar tarafından önerilmiş olmasına karşın belirli kriterlerle ilgili veri veya veri kaynağının bulunmaması, hali hazırda önerildiği haliyle ölçüm zorluğu barındırması, önerilen kavramın soyut olması nedeniyle puanlanmasında sorunlar yaratabileceği gibi nedenler sebebiyle çalışma kapsamından çıkartılmıştır.

Tablo 3. Odak Grup ve Derinlemesine Görüşme Sonucu Belirlenen Kriterler (Criteria Determined as a Result of Focus Group and In-depth Interview)

İPC Uygulamalarına Etki Ettiği Düşünülen Kriterler
Ürünün test raporunda kaç maddeden kaldığı
Kaldığı madde sayısının, test yapılan toplam madde sayısına oranı
İPC uygulanacak firmaya daha önce gidilip gidilmediği
İPC uygulanacak firmaya kaçınıcı kez gidildiği
İPC uygulanacak ürünün bulunduğu yerde tespit edilen adet bilgisi
Firmanın ölçeği (mikro / küçük / orta / büyük) (KOSGEB KOBİ tanımına göre)
İPC'ye konu marka-model web üzerinde aratıldığında çıkan sonuç sayısı (Ürün yaygınlığı ile ilgili fikir vermesi bağlamında)
Ürünle ilgili uygunsuzlukların duyuşsal inceleme ile tespit edilip edilemediği
Ürünün yaygın risk unsurlarından; yangın, elektrik çarpması, patlama risklerinden en az birini taşıyıp taşımadığı
Ürünün piyasaya hangi yıl sürüldüğü (Kaç yıldır piyasada bulunduğu)
Yerli / ithal bilgisi
Ürünün fiyatı (sınıflandırma şeklinde)
Ürünün kullanıcı yaş grubu (sınıflandırma şeklinde)
Ürünün kullanım niteliği (sarf malzeme / tüketici ürünü / profesyonel kullanım vb.)
Aynı ürünü üreten/üretebilen firma sayısı (piyasada tekel bir üretici olup olmadığı)
Ürün fiyatının muadillerine göre değerlendirilmesi (ör. %30 ucuz)
Ambalajlı bir ürün olup olmadığı
Üreticinin tutumu-ürünle ilgili yaklaşımı
Üreticinin geçmişteki kabahat-ceza sayısı
Ürünün internet üzerinden satılıp satılmadığı
Uygunsuzluğun giderilmediği durumda tüketiciyi etkileme derecesi
Uygunsuzluğun üreticinin diğer ürünlerinde tekrarlanması ihtimali
Uygunsuzluğun giderilme zorluğu

Yukarıda anılan kriterler her ne kadar İPC uygulamaları üzerinde tekil olarak etkili olduğu düşünülen kriterler olsa da herhangi bir modellemede doğrudan sayısal olarak bu kriterin puanlanması ve model kapsamına alınması uygulama zorlukları içermekte ve puanlama hesaplamasında karmaşıklığa neden olma potansiyeli taşımaktadır. Bu nedenle, özellikle taşra teşkilatı ve karma grup odak grup görüşmeleri öncesinde söz konusu kriterlerde Kabahatler Kanunu temel alınarak gruplandırmaya gidilmiştir. Buna bağlı olarak üzerinde mutabık kalınan ve modellemede kullanılması amaçlanan kriterler belirlenmiş ve bir sonraki aşamada söz konusu faktörlerin ne şekilde ağırlıklandırıldıkları açıklanmıştır.

Tablo 4'te görüldüğü üzere görüşmeler sonucunda belirlenen kriterler esasında dört başlık altında toplanmış olup odak grup görüşmelerinde söz konusu gruplandırma katılımcılar ile paylaşılmış ve bahse konu gruplandırmanın uygun görüldüğü sonucuna ulaşılmıştır. Kriter sayılarında gerçekleştirilen indirgeme işlemi gerek modelin uygulanmasında kolaylık sağlayacak gerekse de alt kriterlerin İPC üzerindeki etkisini modele yansıtacaktır.

3.3. Model Kapsamında Seçilen Faktörler (Factors Selected in the Scope of the Model)

Gerçekleştirilen görüşmeler sonucunda, çalışma kapsamında ele alınacak ve İPC uygulamalarına etki ettiği düşünülen faktörler belirlenmiştir. Elde edilen faktörlerin doğrudan modele uygulanmasının yaratacağı matematiksel zorluk nedeniyle faktörlerde gruplandırma çalışması yapılmış ve modele konu ana faktörler belirli çerçeveleri barındıracak şekilde belirlenmiştir. Bu bölümde alt faktörlerden oluşan ana faktörler detaylandırılacak ve çalışma kapsamında ele alınma şekli izah edilecektir.

3.3.1. Risk Derecesi (Risk Level)

İdari para cezası uygulamalarına hukuki dayanak oluşturan Kabahatler Kanunu'ndaki "haksızlığın içeriği" kavramından hareketle, denetim sonucunda uygunsuz veya güvensiz bulunan ürünün kullanımının devam

etmesinin veya piyasada bulunurluğunun oluşturduğu risk algısının denetçi gözüyle derecelendirilmesini ifade eden ve gerçekleştirilen görüşmeler sonucunda önerilen faktörler bağlamında da modelde yer almasında fayda görülen bir kriterdir. Söz konusu değişken uygulayıcı tarafından 1 ile 10 arasında puanlanmaktadır. 1 puan uygunsuzluk/güvensizliğe ilişkin bir değerlendirmede risk şiddetinin en düşük seviyede oluştuğunu ifade ederken, 10 puan en yüksek seviyede uygunsuzluk/güvensizliği ifade etmektedir.

Tablo 4. Modelde kullanılması planlanan kriterler ve alt nedenleri
(Criteria and sub-reasons planned to be used in the model)

Ana Kriterler	Ele Alınan Kriterler
Risk Derecesi	Ürünle ilgili uygunsuzlukların duyuşsal inceleme ile tespit edilip edilemediği
	Ürünün yangın, elektrik çarpma, patlama risklerinden en az birini taşıyıp taşımadığı
	Uygunsuzluğun giderilmediği durumda tüketiciyi etkileme derecesi
	Uygunsuzluğun giderilme zorluğu
	Ürünün test raporunda kaç maddeden kaldığı
	Kaldığı madde sayısı / test yapılan toplam madde sayısı
PGD Sicili	Uygunsuzluğun imalatçının diğer ürünlerinde tekrarlanması ihtimali
	İmalatçı/ithalatçının tutumu-ürünle ilgili yaklaşıımı
	İmalatçı/ithalatçının geçmişteki kabahat-ceza sayısı
	İPC uygulanacak firmaya daha önce gidilip gidilmediği
	İPC uygulanacak firmaya kaçınıncı kez gidildiği
Firmanın Büyüklüğu	Aynı ürünü üreten/üretebilen firma sayısı (piyasada tekel bir imalatçı olup olmadığı)
	Firmanın ölçeği
	Yerli / ithal bilgisi
Ürünün Niteliği	Ürünün piyasaya hangi yıl sürüldüğu (kaç yıldır piyasada bulunduğu)
	Ürünün kullanım niteliği (sarf malzeme / tüketici ürünü / profesyonel kullanım / sürekli – aralıklı kullanım vb.)
	Ürünün internet üzerinden satılıp satılmadığı
	İPC uygulanacak ürünün bulunduğu yerde tespit edilen adet bilgisi
	İPC'ye konu marka-model web üzerinde aratıldığında çıkan sonuç sayısı
	Ürünün fiyatı (sınıflandırma şeklinde)
	Ürünün kullanıcı yaş grubu (sınıflandırma şeklinde)
	Ürün fiyatının muadillerine göre değerlendirilmesi
	Ambalajlı bir ürün olup olmadığı

3.3.2. PGD Sicili (Past MSI Records)

Kabahatler Kanunu'ndaki "failin kusuru" kavramından hareketle denetim sonucunda uygunsuz veya güvensiz bulunan ürünün üretici/dağıtıcı/satıcı açısından sorumluluğunu ve ilgili sorumluluk bağlamında bu tür bir eylem içinde bulunma sıklığını/yoğunluğunu ifade etmektedir. İlgili değerşken, gerçekleştirilen odak grup ve derinlemesine görüşmeler eliyle ulaşılan alt faktörlerin modele bir yansımısını göstermektedir. Söz konusu değerşken eliyle sorumlu tarafların bütüncül olarak gerekli sorumluluklarını yerine getirme eğilimi değerlendirilmektedir. 1 puan uygunsuzluk/güvensizliğe ilişkin bir değerlendirmede firma sicilinin en düşük seviyede oluştuğunu ifade ederken, 10 puan firmanın en yüksek seviyede olumsuz bir sicile/denetim geçmişine sahip olduğunu ifade etmektedir.

3.3.3. Firmanın Büyüklüğu (Size of the Firm)

Kabahatler Kanunu'ndaki "ekonomik durum" kavramından hareketle denetim sonucunda idari yaptırıma muhatap olan firmanın ekonomik büyüklüğu bu değerşken aracılığıyla değerlendirilmektedir. Ekonomik büyüklük gerçekleştirilen görüşmelerde de katılımçılar tarafından önerilen pek çok alt faktörde ele alınan temel konulardan bir tanesidir. Ekonomik büyüklük arttıkaçta firmalar için dışsallık ortaya çıkmakta dolayısıyla firmanın aldığı kararlar yalnızca kendisini bağlamanın ötesinde piyasa belirleyicisi/yönlendiricisi olma rolü eliyle faaliyette

bulunduğu piyasanın da düzenlenmesine fayda sağlamaktadır. 1 puan uygunsuzluk/güvensizliğe ilişkin bir değerlendirmede sorumluların görece en küçük ekonomik büyüklükte olduğunu ifade ederken, 10 puan ise firmanın ekonomik olarak oldukça büyük olduğunu ifade etmektedir.

3.3.4. Ürünün Niteliği (Specifications of the Product)

Her ne kadar ürünün niteliği değişkeni Kabahatler Kanunu kapsamında birebir ilişkilendirilemeye de denetime konu ürünlerin piyasadaki yaygınlığı, son kullanımdaki ürün sayısı, ürünün bireysel mi kurumsal kullanıma konu olduğu gibi bazı durumlardan etkilenmesi kaçınılmazdır. Bu bağlamda gerçekleştirilen araştırma görüşmelerinde modelde bulunmasında yarar görülen bir faktör olarak ön plana çıkmış ve çalışma kapsamında ana kriterlerden biri olarak belirlenmiştir. 1 puan uygunsuzluk/güvensizliğe ilişkin bir değerlendirmede ürünün niteliğinin en düşük seviyede genel sonuca etki ettiğini ifade ederken, 10 puan en yüksek seviyede katkıyı ifade etmektedir.

3.4. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemi ile İdari Para Cezasına Etki Eden Faktörlerin Ağırlıklandırılması (Weighting of the Factors Affecting the Administrative Fine with the Analytical Hierarchy Process -AHP Method)

Çalışma kapsamında ulaşılmaya hedeflenen kurgusal İPC modeline ilişkin kullanılacak faktörler belirlendikten sonraki aşamada söz konusu faktörlerin ağırlıklandırılmasına gerek duyulmuştur. Söz konusu faktörlere ilişkin ikincil verilerin bulunmaması ve çalışmanın araştırma yöntemleri kısmında tercih edilen nitel araştırma yöntemleri bağlamında ağırlıklandırma kullanılacak yöntemin Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) olmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda bu bölümde öncelikle söz konusu modele ilişkin genel bilgiler paylaşılacak sonraki bölümde ise model kapsamında ele alınan faktörlerin ağırlıklandırma işlemleri aktarılacaktır.

Karar süreçleri, gerek bireysel anlamda gerekse de kurumsal anlamsa günlük hayatın bir parçası olan ve farkında olmaksızın pek çok durumda kullanılan bir akıl yürütme eylemdir. Söz konusu süreçler işletilirken özellikle bireysel anlamdaki değerlendirmelerde çoğunlukla öznel değerlendirmelere dayalı yargılar barındıran ve etkin olmayan sonuçlar sunan matematiksel modeller kullanılmaktadır (Canhasi, 2010). Esasında bu tür durumların bertaraf edilmesinde ihtiyaç duyulan husus karmaşık matematiksel önermelerin basitleştirilmesi ve anlaşılabilir hale getirilmesinde yatmaktadır. Bu kapsamda hem karar süreçlerine etki eden faktörler arasındaki ilişkiyi açıklayan hem de modeli anlaşılabilir hale getiren AHP, literatürde sıklıkla kullanılan yöntemlerden bir tanesidir.

Karar verme teorisinde AHP, matematik ve psikolojiye dayalı karmaşık kararları organize etmek ve analiz etmek için yapılandırılmış bir tekniktir. AHP, 1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden birisidir (Dağdeviren, 2007). Bu yöntem, ilk defa 1983 yılında Expert Choice (URL-2) yazılımını geliştirmek için Ernest Forman ile birlikte kullanılmıştır. AHP o zamandan beri kapsamlı bir şekilde pek çok araştırmacı tarafından uygulanmıştır. Karar kriterlerinin ağırlıklarını ölçmek için doğru bir yaklaşımı temsil eden yöntemde aracılığıyla bireysel uzmanların deneyimleri, ikili karşılaştırmalar yoluyla faktörlerin göreceli büyüklüklerini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Yöntemin uygulanmasına katılanların her biri, özel olarak tasarlanmış bir anket kullanarak her bir madde çiftinin göreceli önemini karşılaştırmakta ve sonuç matris hesaplamasına göre hesaplanmaktadır (Kır, 2012).

AHP yöntemi, koşulları belirlenmiş bir durum bağlamında ikiye bölünmüş faktörleri ve alternatifleri karşılaştırmaktadır. Söz konusu yöntem keskin bir doğru cevabı veren sihirli bir çözüm yöntemi veya modeli olmamakla birlikte ve karar vericilerin "en iyi" cevabı bulmasına yardımcı olan çok kriterli bir karar verme yöntemidir (Karabulut, 2019). Söz konusu yöntemde izlenen adımlar şu şekilde sıralanabilir;

Adım 1: Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP'de ilk adımda bir amaç belirlenir. Bu amaç, birden fazla alt amacın genel amacıdır. Karar verme problemi, alternatifler, kriterler ve alt kriterler şeklinde tanımlanır. Karar noktalarının sayısı m ile karar noktalarını etkileyen faktörlerin sayısı n ile sembolize edilir.

Adım 2: Değerlendirilecek kriterlere göre karar seçimleri, karar veren kişi veya kişiler tarafından birbirleriyle karşılaştırma yoluyla yapılır. AHP'nin temeli ikili karşılaştırmalara dayanır. Bu aşamada faktöriyel karşılaştırma matrisi oluşturulur. Faktörler arası karşılaştırma matrisi, $n \times n$ boyutlu bir kare matristir. Bu matrisin köşegenindeki matris bileşenleri 1 değerini alır. Karar kriterlerini ve karar seçimlerini karşılaştırmak için Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ve Tablo 5'te sunulan ölçek kullanılır (Karabulut, 2019).

Adım 3: Faktörlerin tamamındaki ağırlıklarını yani yüzde anlamlılık dağılımlarını belirlemek için karşılaştırma matrisini oluşturan sütun vektörleri kullanılır ve bir B matrisi oluşturulur. B sütun vektörlerinin hesaplanmasında Denklem-1'de sunulan formül kullanılır.

Tablo 5. Thomas Saaty tarafından geliştirilen AHP puanlama ölçeği (AHP scoring scale developed by Thomas Saaty)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önem	İki faktörün amaca eşit düzeyde katkısı vardır.
3	Bir faktörün diğerine kıyasla az önemi olması	Tecrübe ve yargı bir faktörü diğerine göre çok az tercih ettirir
5	Bir faktörün diğerine kıyasla kuvvetli önemi olması	Tecrübe ve yargı bir faktörü diğerine göre çok kuvvetli tercih ettirir
7	Bir faktörün diğerine kıyasla çok kuvvetli önemi olması	Bir faktör güçlü bir şekilde tercih edilir ve baskınlığı uygulamada görülür.
9	Bir faktörün diğerine kıyasla aşırı derecede önemi olması	Bir faktörün diğerine göre tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük güvenilirliğe sahiptir
2,4,6,8	Orta Değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere yukarıda sayılan yargılar arasına düşen değerler

$$b_{i,j} = \frac{a_{i,j}}{\sum_i^n a_{i,j}} \quad (1)$$

Daha sonra n-B sütun vektörleri matris formatında bir araya getirilerek C matrisi oluşturulur. C matrisinden yararlanarak faktörlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımlarını elde etmek mümkündür. C matrisini oluşturan çizgi bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınarak "öncelik vektörü" olarak adlandırılan W sütun vektörü elde edilir.

Adım 4: Bu adımda AHP sonuçlarının tutarlılığı ölçülür. Tutarlılık oranı, karar vericinin kriterler arasındaki karşılaştırmada tutarlı olup olmadığını belirlemek için hesaplanır. Tutarlılık oranı, tutarlılık göstergesi ve rastgele tutarlılık indeksi göstergelerinin oranı ile elde edilir. Tutarlılık oranının düşük olması, ikili karşılaştırmalarda karar vericinin kararlarının tutarlı olduğunu ve tutarlılık oranının yüksek olduğunu gösterir. %10'a kadar bir tutarlılık değeri kabul edilebilir.

3.4.1. Faktör Ağırlıklarının Belirlenmesi (Determination of Factor Weights)

Çalışma kapsamında oluşturulan kurgusal modelde ele alınan faktörlerin model içindeki ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla derinlemesine görüşme ve odak grup çalışmalarından elde edilen faktörlerden yararlanılmış olup söz konusu faktörlerin ağırlıkları AHP eliyle belirlenmiştir. Bu kapsamda söz konusu modele ilişkin uygulama matrisi SCB Associates (URL-3) tarafından halka açık şekilde paylaşılan Excel formatı üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Faktör ağırlıklarına ilişkin puanlamalar odak grup görüşmeleri sonucunda seçilen 10 farklı katılımcı tarafından yapılan puanlama esas alınarak oluşturulmuştur ve katılımcıların puanlama değerlerinin Denklem-2'de sunulduğu haliyle geometrik ortalaması (URL-4) alınmak suretiyle her bir faktörün ikili puanı belirlenmiştir.

$$G = \sqrt{x_1 \cdot x_2 \dots \dots x_n} \quad (2)$$

Bu kapsamda AHP uygulaması kapsamında dört alt kriter belirlenmiş olup katılımcılara faktörler arası ikili karşılaştırmaları Tablo 6'da sunulan ölçeklendirmeye göre puanlamaları listelenmiştir.

Tablo 6'da çalışma kapsamında kurgusal modelde yer alan faktörlerin önem derecesinin belirlenmesi aşamasında katılımcıların ikili karşılaştırmalara ilişkin puanlamaları ve söz konusu puanlamaların geometrik ortalaması eliyle elde edilen ve yukarı değere yuvarlanan nihai faktör değerleri yer almaktadır. İlgili tablodan elde edilen ikili puanlamalar AHP uygulamasında kullanılan puanlamalara esas teşkil etmektedir.

AHP uygulamasına ilişkin sonuç çıktıları ve matris hesaplamasına ilişkin iterasyon adımları <https://1drv.ms/x/s!Ag6kwwgd6WpkZhNRC9tHKXT48Bvu09w?e=P119bz> linkinde paylaşılmış olup bu bölümde yalnızca faktör katsayıları ve tutarlılık oranına ilişkin özet bilgi paylaşılmaktadır.

Tablo 6. Faktörler arası ikili puanlama tablosu (Pairwise scoring table between factors)

	İkili Karşılaştırma Tablosu					
	Faktör-1-2	Faktör-1-3	Faktör-1-4	Faktör-2-3	Faktör-2-4	Faktör-3-4
Katılımcı / Geometrik Ortalama Değeri	1,47	3,17	4,41	1,47	3,14	2,42
1	1	3	5	2	3	1
2	1	4	6	2	4	4
3	3	3	4	1	4	3
4	2	3	4	1	3	4
5	2	2	3	1	4	2
6	1	5	4	1	3	2
7	2	2	4	3	3	3
8	1	4	5	2	2	2
9	2	4	6	2	3	3
10	1	3	4	1	3	2
Nihai Faktör Değeri	1	3	4	1	3	2

Tablo 7. AHP puanlama ve ağırlıklandırma tablosu (AHP scoring and weighting table)

Faktörler	Risk Derecesi	Ürünün Niteliği	PGD Sicili	Ekonomik Büyüklük	AHP Sonucu	Tutarlılık
Risk Derecesi	1	1	3	4	0,393	Tutarlı:%4
Ürünün Niteliği	1	1	1	3	0,311	
PGD Sicili	1/3	1	1	2	0,201	
Ekonomik Büyüklük	1/4	1/3	1/2	1	0,097	

Tablo 7’de sunulan ve AHP yöntemine göre elde edilen ağırlıklar sunulmuş olup bir sonraki adımda kurgulanacak olan İPC Modelinde söz konusu faktör ağırlıkları kullanılmıştır.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Yürütülen çalışma ile PGD faaliyetlerinin etkililiğinin artırılması ve piyasada haksız rekabetin önlenmesi amacıyla idari para cezalarındaki adaletin ve caydırıcılığın sağlanması için İPC uygulayıcılarına rehberlik edecek pratik ve kolay uygulanabilir bir metot geliştirilmiştir. AHP eliyle elde edilen ağırlıkların saha uygulamalarındaki yansımaları görebilmek ve ilgili model kurgusunun sağlamlığını ölçeklendirebilmek amacıyla STB tarafından yürütülen sanayi ürünleri denetim faaliyetleri kapsamında 1 Ocak 2015 ve 31 Aralık 2019 tarihleri arasında yürürlükte olan 4703 sayılı Kanun’un 12 inci maddesi (a) ve (b) bentlerince uygulanan idari para cezaları kontrol grubu olarak ele alınmıştır. Bu kapsamda model geliştirme süreçleri bağlamında ele alınan yöntemler sonucu elde edilen çıktılar kontrol grubu ile karşılaştırılarak önerilen model test edilmiştir.

Ayrıca deney gruplarının oluşturulmasında kontrol grubuna esas teşkil eden 4703 sayılı Kanun’un 12 inci maddesi a ve b bentlerine ilişkin sınır değerler kullanılarak gruplar arasında karşılaştırma yapılmasına imkan verilmiştir. Ancak karşılaştırma sonuçlarına ilişkin verilere, alan kısıtı nedeniyle makale içerisinde yer verilmemiş olup çalışmanın temel amacı model kurgusunun oluşturulması üzerinedir.

4.1. İdari Para Cezası Hesaplama Modelinin Geliştirilmesi (Development of Administrative Fine Calculation Model)

Bu bölümde önceki bölümde sayılan faktör ve faktör ağırlıkları, sonuç değerlendirmesine etkileri ve model kapsamında seçilen hesaplanma yöntemi detaylandırılacaktır. Bu kapsamda faktörlere ilişkin ağırlık oranları geçmiş deneyimlerden ve gerçek olay uygulamalarından hareketle AHP yöntemine göre belirlenmiş ve genel sonuca etki oranları aşağıda belirtildiği haliyle kullanılmıştır;

- Risk Şiddeti (U) değişkeni %40
- Firmanın PGD Sicili (S) değişkeni %20

- Firmanın Büyüklüğü (B) değişkeni %10
- Ürünün Niteliği (N) değişkeni %30 olarak ağırlıklandırılmıştır.

Bir sonraki aşamada ağırlıkları belirlenen bu değişkenlerin hesaplamalarda ne şekilde kullanılacağına ilişkin nasıl bir yol izlenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda ilgili faktörlerin onluk tabanda puanlanacağı ve hesaplamalara dahil edileceği iki farklı yaklaşım ortaya konulmuş ve sınanmıştır.

4.1.1. Doğrusal Yöntem Yaklaşımı (Linear Method Approach)

Çalışmanın ilk halinde ilgili faktörler eliyle idari para cezasının tayin edilmesinde doğrusal yöntem izlenmiş ve uygulayıcılar tarafından verilen ilgili faktöre ilişkin puan (1 ile 10 arası) ile genel ağırlıklı oranlar çarpılmış ve her bir değişkene ilişkin oluşan değer toplanarak nihai ceza puanına ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde sonuçların beklenildiği üzere normal dağılım özelliği göstermesi sebebiyle genel olarak dengeli bir dağılım göstermiştir. Burada ilk akla gelen durum, pek çok çalışmada bu tür sonuçların istenen sonuçlar olması iken İPC uygulamasında esas teşkil eden konunun firmaların dengeli şekilde yaptırma tabi tutulmasından ziyade kabahati arttıkça daha caydırıcı cezaların verilmesinin istenmesidir.

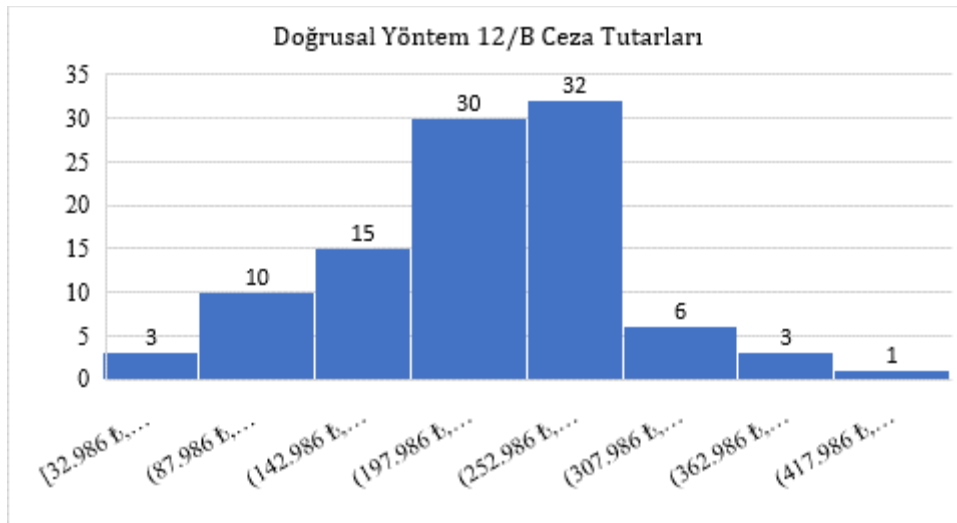
$$\text{Ceza Puanı (P)} = \sum_{i=1}^4 \text{Faktör}_i * \text{Ağırlık}_i \quad (3)$$

Doğrusal yöntem aracılığıyla hesaplanan ceza puanı Denklem-3'de sunulduğu haliyle hesaplanmış olup *Faktör* değişkeni çalışma kapsamında belirlenen ilgili dört faktörü temsil ederken, *Ağırlık* ise ilgili faktörün AHP sonucu elde edilen ağırlığını göstermektedir. Ceza puanı ilgili faktöre verilen puan ile ağırlık çarpımlarının toplamını ifade etmektedir.

$$\text{İPC Tutarı} = \text{Alt} + \left(P * \left(\frac{\text{Üst}-\text{Alt}}{9} \right) \right) - \frac{\text{Üst}-\text{Alt}}{9} \quad (4)$$

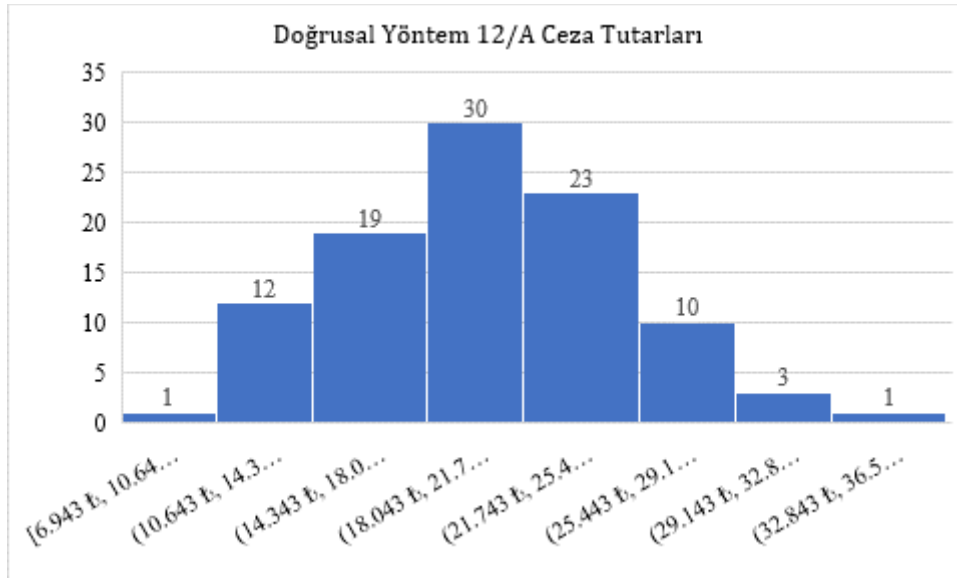
Alt : İlgili ceza maddesi alt sınırı
 Üst : İlgili ceza maddesi üst sınırı
 P : Hesaplanan ceza puanı

İlgili ceza puanının tayin edilmesi ile birlikte bir sonraki aşamada ceza puanından hareketle İPC tutarı hesaplanmaktadır. Söz konusu hesaplama yöntemi Denklem-4'de sunulmuş olup ilgili denklemde ceza puanının ilgili hukuki dayanak sınır değerleri arasına denk düşen tutar karşılığı hesaplanmaktadır. Doğrusal yönteme ilişkin oluşturulan model rassal olarak puanlanmış 100 farklı gözlem ile test edilmiş ve 4703 sayılı Kanun'un 12/a ve 12/b maddelerine ilişkin sonuçlar aşağıdaki grafiklerde sunulmuştur.



Şekil 1. Doğrusal yöntem modeliyle hesaplanmış İPC dağılım grafiği (4703 12/b)
 (Administrative fine distribution chart calculated with linear method model - 4703 12/b)

Şekil 1'de elde edilen verilen rassal olarak oluşturulmuş 100 gözlemden elde edilen veriler ile oluşturulmuştur. Görüldüğü üzere söz konusu ceza tutarları normal dağılım özelliği göstermekle birlikte ortalama para cezası ilgili hukuki dayanağın sınır değerlerinin ortalamasına denk düşmekle birlikte sıklıkla cezaların ortalama değer üzerinden verilmesine sebebiyet verecektir.



Şekil 2. Doğrusal yöntem modeliyle hesaplanmış İPC dağılım grafiği (4703 12/a)
(Administrative fine distribution chart calculated with linear method model - 4703 12/a)

Doğrusal yönteme ilişkin ortalama değer etrafında toplanma sonucu metodolojik ortaya çıkmakta ve hukuki dayanaktan bağımsız olarak ele alınması gerekli bir husustur. Nitekim ceza maddesi değişse ve rassal gözlemler tekrarlı olsa dahi ortalama değer etrafında yığın oluşturma durumu Şekil 2’de görüldüğü üzere değişmemektedir.

Doğrusal yöntemin ortaya koyduğu tabloya istinaden modelde iyileştirme gerekliliği olduğu ortaya konulmuş ve bir sonraki adımda açıklanacak olan Üssel Yöntem ile hesaplama yöntemi farklı bir perspektif ile ele alınmıştır.

4.1.2. Üssel Yöntem Yaklaşımı (Exponential Method Approach)

Doğrusal yöntemin barındığı ve esasen İPC uygulamalarının temel mantığıyla uyuşmayan simülasyon, ilgili model üzerinde belirli iyileştirmelerin gerekli olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda her bir faktörün eş anlı olarak yüksek puanlandığı durumlarda daha yüksek idari para cezalarının tayin edilebileceği ve genel anlamıyla ekonomik hayatı etkilemeyecek ceza politikalarının sahaya yansıtılabileceği yeni bir yaklaşım belirlenmiştir. Üssel yöntem olarak adlandırılan bu yaklaşım faktörlere ilişkin puanlamaların doğrudan kullanılması yerine ikinci dereceden üssel değerlerin hesaplama adımında kullanılması ise üssel dağılım özelliğinden faydalanılmak istenmiştir.

$$Ceza Puanı (P) = \frac{\sum_{i=1}^4 Faktör_i^2 * Ağırlık_i}{10} \quad (5)$$

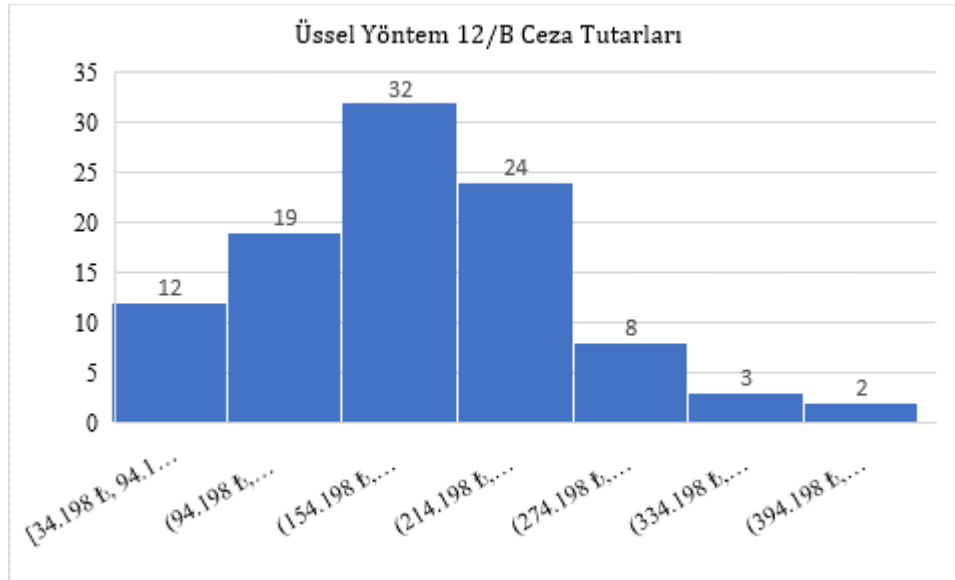
Denklem-5’te sunulduğu haliyle İPC belirlemede kullanılan faktörlerin ikinci dereceden üssel terimleri modele eklenmiş ve devamında İPC tutarı Denklem-6’da yer verilen hesaplama yöntemine göre hesaplanmıştır.

$$İPC Tutarı = \left(Alt + \left(P * \left(\frac{Üst - Alt}{9,9} \right) \right) \right) - \left(\frac{Üst - Alt}{99} \right) \quad (6)$$

Alt : İlgili ceza maddesi alt sınırı
Üst : İlgili ceza maddesi üst sınırı
P : Hesaplanan ceza puanı

Denklem 6’da gösterilen hesaplama yöntemine göre gerçekleştirilen hesaplama sonuçlarının sola yaslanmış bir dağılım göstermesi beklenmekle birlikte herhangi bir faktörün yüksek değer almasındansa faktörlerin eş anlı olarak birlikte yüksek değer aldığı durumlar özelinde üst sınıra yakınsayan değerlere ulaşılması beklenmektedir.

Şekil 3’te verilen 100 farklı rassal gözleme göre oluşturulmuş örnekleme ilişkin bulgular, üssel yöntem eliyle gerçekleştirilen hesaplama sonuçlarında ortalama değer in ceza sınır aralığı birinci çeyreğe denk düşecek şekilde yoğunlaştığını, aynı zamanda üst sınır değer yakın para cezalarının gözlem sıklığının oldukça düştüğünü göstermektedir. Bu bağlamda gerçek uygulamalarda da yüksek riskli ürünlerin piyasada var olabilme sıklığı, teknik düzenleme eksikliği ve bilgi/belge eksikliği durumlarına kıyasla oldukça düşük yoğunlukta izlenmektedir.



Şekil 3. Üssel yöntem modeliyle hesaplanmış İPC dağılım grafiği (4703 12/b)
(Administrative fine distribution chart calculated with exponential method model - 4703 12/b)

Bu kapsamda üssel yöntemin, doğrusal yöntemle kıyasla daha kullanışlı bir model olduğu değerlendirilmektedir. Ceza hukuki dayanağının değişmesi metodolojik bir farklılık yaratmamakta olup yalnızca ceza sınırlarını belirlemektedir. Bu kapsamda cezaya konu tüm alt hukuki dayanak türlerinde modelin ruhu korunmakta cezaların aynı mantık dahilinde belirlenmesine imkan vermektedir.

4.1.3. İdari Para Cezası Modeli Simülasyonları (Simulations of the Administrative Fine Model)

Çalışma kapsamında İPC uygulamalarına etki eden ana faktörler belirlenmiş olup devamında ilgili faktörlerin ağırlıklandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki aşamada İPC tutarlarının belirlenmesinde uygulanacak matematiksel model belirlenmiş ve rassal olarak oluşturulan gözlemler eliyle söz konusu model önerileri arasındaki dağılım farklılıkları incelenerek daha etkin olduğu düşünülen üssel yöntem yaklaşımında önerilen hesaplama adımları İPC Modelini oluşturmada kullanılmak üzere belirlenmiştir. Gelinek noktada söz konusu modelin etkinliğinin test edilmesi amacıyla farklı uygulayıcılara ilgili modelin gerçek vaka çalışmaları bağlamında test edilmesi istenmiş ve sonuçlar tarafımızla paylaşılmıştır.

İPC uygulamaları bağlamında belirli bir oranın üzerinde uygulamayı temsil eden üç farklı il müdürlüğü ile birlikte gerçek vaka uygulamaları ve yeni model eliyle uygulanması tavsiye edilen cezaların kıyaslanması talep edilmiştir. Söz konusu simülasyon çalışmaları sonucunda mevcut durumda çoğunlukla cezaların alt sınır etrafında yoğunlaştığı gözlemlenmiş ve yeni model eliyle yapılan hesaplamalarda ceza tutarlarında belirli oranda yükseliş görülmüştür. İl müdürlüklerinden alınan değerlendirmelerde, önerilen yeni yöntemin hali hazırda cezai sorumlular tarafından başvuru hukuki süreçlerde ceza tespitinin matematiksel açıdan belirli bir dayanağının olmasının uygulayıcıların argümanlarını destekler bir yönü olduğunu, modelde önerilen faktörlerin ceza tespitinde kullanılması yönünde gerek hukuki dayanak noktasında gerekse de gerçek vaka uygulamalarında yeterli olduğunun görüldüğü değerlendirilmesi sunulmuştur.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

5326 sayılı Kabahatler Kanunu hükümleri incelendiğinde idare tarafından uygulanacak idari para cezalarının belirlenmesi hususunda belirli kriterlerin ilgili Kanun'da anıldığı görülmektedir. İPC uygulamaya yetkili İdare, alt ve üst sınır tutarları içinde takdir yetkisini kullanmak suretiyle uyguladığı yaptırımlarda dahi birtakım nesnel kriterleri dikkate alarak hareket etmekle yükümlüdür. İdare, bir Kabahate ilişkin alt ve üst sınırın tespit edilmiş olması durumunda, idari para cezasının miktarını belirlerken, işlenen kabahatin haksızlık içeriğini, failin kusurunu ve ekonomik durumunu birlikte göz önünde bulundurmakta ve buna göre ceza uygulaması gerçekleştirmektedir. Bu nesnel kriterler, idarenin takdir yetkisinin sınırlarını oluşturmakla birlikte ilgili ölçütlerin nasıl değerlendirildiği de İPC'nin belirlenmesi açısından önem teşkil etmektedir.

Bunun yanında gerek mülga 4703 Sayılı Kanun gerekse de 12 Mart 2021 tarihi itibarıyla yürürlüğe giren 7223 sayılı Ürün Güvenliği ve Teknik Düzenlemeler Kanunu'nda ürüne ve üreticiye yönelik risk değerlendirmesine sıklıkla vurgu yapılmış, yetkili kuruluşlar tarafından yürütülecek faaliyetlerin ve yapılacak düzenlemelerin bu risk analizleri doğrultusunda şekillendirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca STB'nin idari yaptırım uygulama süreci genel olarak Bakanlık PGD Yönetmeliği ile düzenlenmiş durumdadır. Yönetmelik doğası gereği uygulanacak idari

yaptırma ilişkin tüm süreçleri ayrıntılı bir şekilde açıklayan ve detaylandıran bir düzenleyici işlem niteliğinde değildir (Aslan, 2014). Dolayısıyla gerçekleştirilen bu çalışma ile STB tarafından yürütülen PGD faaliyetlerinde etkinliğin artırılması ve idari para cezalarına ilişkin tespitlerin Kabahatler Kanunu'nun ruhuna uygun ve risk analizine dayalı olması amaçlanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında STB Piyasa Gözetimi ve Denetimi faaliyetlerinde tespit edilen aykırılıklara ilişkin piyasa regülasyon araçlarından İPC'nin uygulanmasına yönelik kolay anlaşılır ve uygulanabilir bir model oluşturulması amaçlanmış olup bu kapsamda derinlemesine görüşme ve odak grup görüşmeleri vasıtasıyla saha tecrübesi ile hukuki dayanaklar harmanlanarak İPC miktarına etki eden faktörler belirlenmiştir. Bu faktörler aracılığıyla herhangi bir vaka karşısında ceza uygulayıcısının referans alabileceği bir hesaplama yöntemi geliştirilerek İPC tayininde kullanılabilecek bir model oluşturulmuştur.

Çalışmanın ana çıktısı olan İPC Modeli vasıtasıyla İPC uygulamalarında farklı taraflarca iletilen uygulama eleştirilerine bir cevap oluşturulması ve İPC tayinlerinin kamusal faydayı maksimize ederken iş çevrelerinin ekonomik faaliyetlerini engellememesi temel amacı korunmuştur. Bu kapsamda İPC cezalarının ruhu gereği tüketici can ve mal güvenliğini tehlikeye sokan yahut rekabeti önleyici fırsat avantajı sağlayan sorumluların orantılılık ilkesi altında yarattıkları kamusal zararın karşılanması hususu, modeli oluşturan faktörlerin belirlenmesinde ve ilgili hesaplama adımlarında göz önünde bulundurulmuştur. Bu açıklamadan hareketle ilgili model eliyle yürütülen hesaplamalarda herhangi bir faktörde gözlemlenen artış esasen sorumlular açısından üssel oranda bir cezayla muhatap kalınmasına neden olmakla birlikte eş anlı olarak birden fazla faktörden yüksek puan verilen vakalarda sorumluların maksimum tutarlardan ceza ile yaptırma tabi tutulmasını sağlamıştır. Bu sayede STB sorumluluk alanına giren sanayi ürünlerine ilişkin yürütülen denetim faaliyetlerinde, ilgili mevzuat hükümlerine esas olarak sorumluluklarını yerine getirmeyen ilgili taraflar açısından caydırıcılık sağlanmakta ve ilgili piyasaların düzenlenmesine daha etkin şekilde hizmet edilmektedir.

Özetle, STB sorumluluğunda yürütülen PGD faaliyetleri sonucunda uygulanan İdari Para Cezalarına ilişkin geçmiş verilerden faydalanılarak elde edilen analizler ışığında oluşturulan İPC Modelinin güçlü yanlarını şu şekilde sıralamak mümkündür;

- İlgili modelin hukuki dayanağı olan Kabahatler Kanunu esas alması itibari ile sağlam bir çıkış noktasına sahip olması,
- Söz konusu modelin oluşturulmasında İPC uygulayıcısı STB personelinin doğrudan katkısının modelin gerçek hayat uygulamalarında etkin sonuç vermesine imkan sağlaması,
- Ceza miktarlarının hesaplanmasında birden fazla kriterin eş anlı yüksek puanlanması ile üst sınıra yakın cezaların verilmesi, daha açık bir ifade ile kabahati büyük olan sorumlulara daha yüksek cezaların tayin edilmesi,
- Söz konusu modelin PGD veri tabanları ile entegrasyonu sonucunda uygulama kolaylığının sağlanması ve uygulayıcılar açısından oluşturulacak rehber yardımıyla yalnızca dört değişkene puan verilerek ilgili ceza miktarına ulaşılması,
- Model özelinde tercih edilen üssel metodunun PGD faaliyetlerinin ve Kabahatler Kanunu'nun özüne uygun şekilde dengeli bir ceza dağılımı sunuyor olması çalışmanın güçlü yanlarını oluşturmaktadır.

Hiç kuşkusuz ki, uygulama geliştirme süreçlerinde izlenen hiçbir yol çalışmacıları mutlak doğruya götürmemektedir ve çalışmacıların temel amacı en iyi olası sonuca ulaşmaktır. Bu bağlamda, gelecekte çalışma konusu alanında yapılacak yeni araştırmalara ışık tutması açısından çalışmanın sınırlılıkları ve kısıtlarından bahsedilmesinde fayda görülmektedir. Çalışma kapsamında karşılaşılan en önemli sınırlılık STB dışında farklı ürün gruplarında PGD faaliyeti yürüten diğer yetkili kuruluşlarca benzer bir metodolojinin izlenmiyor olmasıdır. Bu nedenle elde edilen modelin alanda yapılan diğer çalışmalar ve öneriler ile mukayese edilmesi söz konusu olmamıştır. Çalışmada karşılaşılan bir diğer önemli sınırlılık ise model kapsamında ele alınan faktörlerin ağırlık puanlarının belirlenmesinde izlenen yöntemden kaynaklanmaktadır. Söz konusu yöntem eliyle elde edilen ağırlıklar kısıtlı bir katılımcı evreniyle gerçekleştirilmiş olup ilerleyen yıllarda yürütülecek iyileştirme çalışmalarında farklı yöntemler eliyle ağırlıkların belirlenmesi mümkündür. Sayılan söz konusu sınırlılıkların ilgili modelin hayata geçirilmesi sonucu gerçekleştirilecek uygulamalardan elde edilen verilerin analiz edilmesiyle iyileştirilebileceği değerlendirilmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Aslan, O. (2014). Piyasa Gözetimi ve Denetimi Faaliyetlerinde İdari Yaptırım ve Yargısal Denetim. Uzmanlık Tezi. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- Ateş, B. (2021). Piyasa Gözetimi ve Denetimi Faaliyetlerinde "Ürün Güvenliği ve Teknik Düzenlemeler Kanunu" ile Getirilen Yenilikler. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Anahtar Dergisi, 393, 32-35.
- Bardakçı, M. A. (2006). Kabahatler Kanununa Göre İdari Para Cezaları ve İdari Para Cezalarının Yargısal Denetimi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Borluk, Ç. N. (2020). Kamu Sektöründe İnsan Kaynaklarının Geliştirilmesi: Piyasa Gözetim ve Denetim Personelinin Yetkinlikleri Üzerine Bir Çalışma. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi.
- Canhasi, E. (2010). Analitik Hiyerarşi Süreci. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.
- Çoban, Ü. M. (2009). Kabahatler Kanunundaki İdari Para Cezaları. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.
- Çobanoğlu, S. (2017). Türkiye'de İdari Para Cezalarının Hukuki Zemini ve Kamu Gelirleri İçerisindeki Yeri. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi.
- Çokluk, Ö., Yılmaz, K. ve Oğuz, E. (2011). A Qualitative Interview Method: Focus Group Interview. Journal of Theoretical Educational Science, 4(1), 95-107.
- Dağdeviren, M. (2007). Integrated Modelling the Performance Evaluation Process with Fuzzy AHP. Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Sigma, 25(3), 268-282.
- Gencan, Y. (2015). Piyasa Gözetimi ve Denetiminde Düzeltici Faaliyet Uygulamaları. Uzmanlık Tezi. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- Gerek, İ., Erdiş, E. ve Yakut, E. (2012). Piyasa Gözetimi ve Denetimi Sisteminin İrdelenmesi. Engineering Sciences, 7(1), 245-253.
- Gök, O. E. (2014). Piyasa Gözetimi ve Denetiminde (PGD) İyi Uygulama Örneklerinin İncelenmesi: Yeni Yaklaşımlar Çerçevesinde AB Ülke Modelleri İle Türkiye Modelinin Kıyaslanması. Uzmanlık Tezi. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- GÜBİS (Güvensiz Ürün Bilgi Sistemi). Yetkili PGD Kuruluşları ve Sorumlu Oldukları Ürün Grupları. Erişim: 01.04.2022, <http://guvensizurun.gov.tr/Genel/UrunGrup>
- Gülcan, C. (2021). Nitel Bir Veri Toplama Aracı: Odak (Focus) Grup Tekniğinin Uygulanışı ve Geçerliliği Üzerine Bir Çalışma. Mersin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü e-Dergisi, 4(2), 94-109.
- Kaman, Z. (2018). Risk Analizinde Bulanık Mantığın Kullanılmasına Yönelik Bir Uygulama Çalışması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.
- Karabulut, N. E. (2019). Risk Management and Risk Prioritization Using Analytic Hierarchy Process. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi.
- Kır, İ. (2012). Performans Değerlendirmede AHP Yaklaşımı ve Eğitim Sektöründe Bir Uygulama. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.
- Mecit, K. (2015). Kabahatler Kanunu Hükümleri Işığında Vergi Kabahatlerinde Katılma ve Birleşme. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi.
- Mergen, Y. (2006). Sistem Tercihinde Analitik Hiyerarşi Modelinin Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünde Uygulanması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Mete, M. H. (2019). Bakanlığımızın Piyasa Gözetimi ve Denetimi Alanındaki Faaliyetleri. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Anahtar Dergisi, 369, 15-19.
- Morgül, M. B. (2020). Türkiye'de Piyasa Gözetimi ve Denetimi Uygulamaları ve Tüketicilerin Bu Konudaki Görüş ve Beklentileri. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.
- Sağbaş, A. (2009). Tıbbi Cihaz Piyasa Gözetimi ve Denetimi Görevlilerinin İletişim Bilgi ve Becerileri. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi.
- Şahin, A. (2007). Yalın Üretimde Analitik Hiyerarşi Modelinin Uygulanabilirliği. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Tekin, H. H. ve Tekin, H. (2006). Nitel Araştırma Yönteminin Bir Veri Toplama Tekniği Olarak Derinlemesine Görüşme. İstanbul Üniversitesi Sosyoloji Dergisi, 3(13), 101-116.
- Ticaret Bakanlığı (2016). Avrupa Birliği Ürün Kurallarının Uygulanmasına İlişkin Mavi Rehber. Ankara: Ticaret Bakanlığı Yayınları.
- Topalömer, K. (2016). Piyasa Gözetimi ve Denetimine İlişkin Dünya Örnekleri ve Türkiye için Kurumsal Yapılanma ve Uygulama Önerileri. Uzmanlık Tezi. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- URL-1. 5326 Sayılı Kabahatler Kanunu, <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5326.pdf> (Erişim Tarihi: 23.02.2022)
- URL-2. https://en.wikipedia.org/wiki/Expert_Choice (Erişim Tarihi: 17.05.2022)
- URL-3. <https://www.scbuk.com/ahp.html> (Erişim Tarihi: 20.05.2022)
- URL-4. https://en.wikipedia.org/wiki/Geometric_mean (Erişim Tarihi: 20.05.2022)



ÇOK FAZLI MİKRODENETLEYİCİ TABANLI SENKRON DÜŞÜRÜCÜ DÖNÜŞTÜRÜCÜDE ÇALIŞMA MODLARININ VERİME ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Barış YENER, Nihan ALTINTAŞ*

Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Düşürücü Dönüştürücü,
Senkron Dönüştürücü,
Mikrodenetleyici,
Çok Fazlı.

Öz

Son zamanlarda hızla artan enerji tüketimi ve enerji kaynaklarının azalması nedeniyle enerjiyi verimli kullanmak önemli hale gelmiştir. Günümüzde arabalar, cep telefonları, ısıtıcı üniteler, akü şarj cihazları, LED sürücüler gibi elektronik cihazların çoğunun içinde güç dönüştürücüleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, çok fazlı senkron düşürücü dönüştürücü devresinin verimini artırmak için bir çalışma yapılmıştır. Devrede birbirine eş dört adet senkron düşürücü dönüştürücü kullanılmıştır. Devrenin kontrolü mikrodenetleyici yardımı ile yapılmıştır. Sabit ve değişken olmak üzere iki çalışma modu için verim değerleri incelenmiştir. Devrede aynı zamanda aktif faz sayısı, anahtarlama frekansı ve yük akımı parametrelerinin değişmesi durumunda verim değerleri tespit edilmiştir. Alınan ölçümlerin değerleri ve çalışma noktaları incelendikten ve her bir yük durumu için optimum çalışma koşulu belirlendikten sonra, kontrol algoritmasına eklenerek değişken yük durumunda aktif faz sayısı ve çalışılacak anahtarlama frekansına karar verilmiştir. Böylece devrede ilave eleman kullanmadan ve devre maliyetini arttırmadan devrenin tüm yük koşulları altında maksimum verimde çalışması sağlanmıştır.

AN INVESTIGATION OF THE EFFECT OF OPERATION MODES ON EFFICIENCY IN MULTIPHASE MICROCONTROLLER BASED SYNCHRONOUS BUCK CONVERTER

Keywords

Buck Converter,
Synchronous Converter,
Microcontroller,
Multi-phase.

Abstract

Recently, it has become important to use energy efficiently due to the rapidly increasing energy consumption and the decrease in energy resources. Today, most of the electronic devices such as cars, mobile phones, heater units, battery chargers, LED drivers have power converters inside. In this work, a study has been carried out to increase the efficiency of the multi-phase synchronous buck converter circuit. Four identical synchronous buck converters are used in the circuit. The control of the circuit is made with the help of microcontroller. Efficiency values were examined for two operating modes, fixed and variable. At the same time, efficiency values were determined for the change of active phase number, switching frequency and load current parameters of the circuit. After examining the values and operating points of the measurements taken and determining the optimum operating condition for each load situation, the number of active phases in variable load condition and the switching frequency to be operated are decided by adding them to the control algorithm. Thus, it is ensured that the circuit operates at maximum efficiency under all load conditions without using additional elements in the circuit and without increasing the circuit cost.

Alıntı / Cite

Yener, B., Altıntaş, N., (2023). Çok Fazlı Mikrodenetleyici Tabanlı Senkron Düşürücü Dönüştürücüde Çalışma Modlarının Verime Etkisinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 254-263.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Yener, 0000-0002-5783-0377
N. Altıntaş, 0000-0002-6567-7675

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	21.07.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	14.10.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	07.11.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

*İlgili yazar / Corresponding author: naltin@yildiz.edu.tr, +90-212-383-5845

AN INVESTIGATION OF THE EFFECT OF OPERATION MODES ON EFFICIENCY IN MULTIPHASE MICROCONTROLLER BASED SYNCHRONOUS BUCK CONVERTER

Bariş YENER, Nihan ALTINTAŞ†

Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Highlights

- In the study, an algorithm was developed to be used in a multi-phase synchronous buck converter.
- The proposed algorithm increases the efficiency of the system in every operating mode.
- The algorithm can be easily adapted to more than four phases.
- The efficiency obtained with the proposed method is over 90% in a wide operating range.

Graphical Abstract

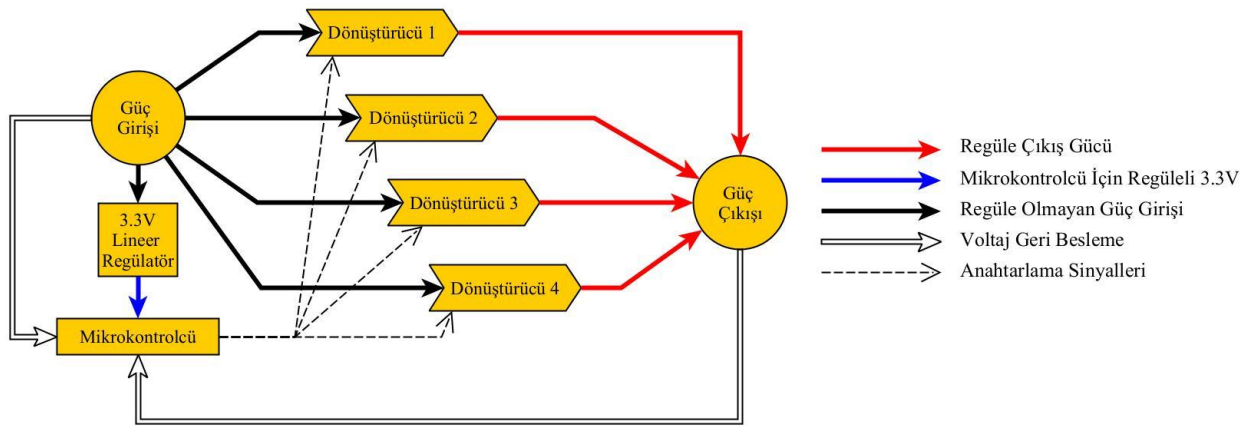


Figure. Control and Power Stage Block Diagram

Purpose and Scope

The main purpose of this study is to increase the efficiency of the multi-phase synchronous buck converter circuit without control complexity and without using extra elements.

Design/methodology/approach

In order to examine the multi-phase synchronous buck converter circuit in terms of efficiency, 4 identical synchronous buck converter circuits are connected in parallel. A microcontroller controls the circuit, and algorithms have been developed to provide power conversion. Efficiency measurements are made by operating the circuit in constant operation and variable operation mode.

Findings

The multi-phase synchronous buck converter circuit has been operated efficiently in all operating conditions without using additional elements or increasing the circuit cost by optimizing the switching frequency and active phase number with the developed algorithm.

Originality

In general, studies on increasing the efficiency of multi-phase buck converters are used additional elements or complex controllers in the circuit. In this study, efficient operation is ensured in all operating conditions thanks to the algorithm developed to dynamically adjust the converter switching frequency and the number of active converter circuits. The study aims to help researchers and engineers working to ensure efficient operation in power converters.

† Corresponding author: naltin@yildiz.edu.tr, +90-212-383-5845

1. Giriş (Introduction)

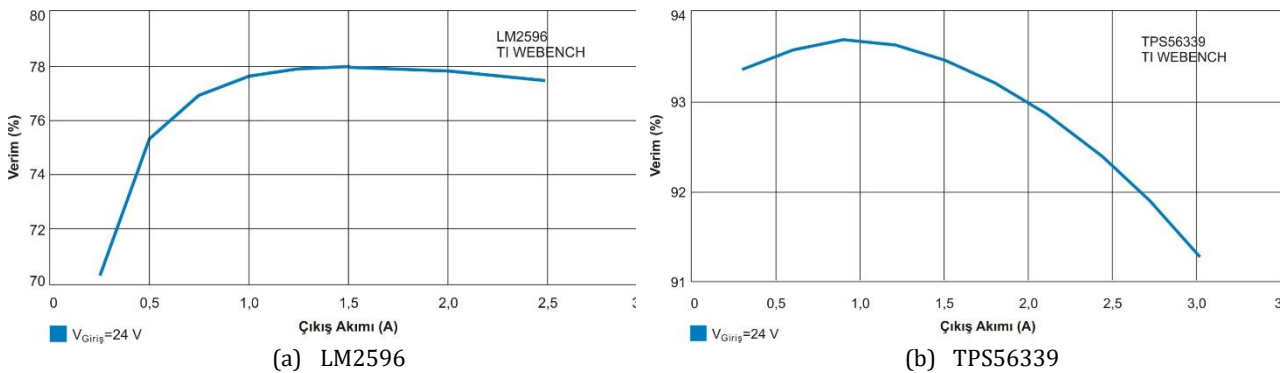
Enerji, sanayinin olduğu kadar halkın günlük yaşantısının da önemli girdilerinden biridir. Enerjiye olan talep sürekli olarak artarken, enerji kaynaklarının da hızlı bir şekilde tükenmesi enerjinin verimli kullanılmasını zaruri hale getirmiştir (World Energy & Climate Statistics, World Consumption Statistics, Yearbook 2022). Enerji verimi yüksek cihazlar, aynı birim iş yükünü yerine getirmek için enerji verimi düşük cihazlara göre daha az enerji kullanır. Bu nedenle hızla artan enerji talebini yavaşlatmak için kullandığımız cihazların enerji veriminin artırılması büyük önem taşımaktadır.

Günlük hayatımızda kullandığımız tüm elektronik cihazlar alternatif akım (AA) veya doğru akım (DA) elektrik enerjisi ile çalışır. Şebekeden alınan enerji, güç dönüştürücüleri sayesinde farklı seviyelerdeki regüle edilmiş gerilimlere dönüştürülür. Bu dönüştürücülerin verimi cihazın verimini doğrudan etkiler (Tutaev vd., 2019). Doğru akım dönüştürücüleri, girişindeki gerilimi çıkışında yükün talep ettiği gerilim değerine ayarlayan devrelerdir. Bu dönüştürme işlemi esnasında girişten çekilen enerji, çıkışa aktarılan enerjiden fazladır. Giriş ve çıkış arasındaki enerji farkı devre elemanları üzerinde ısı enerjisi olarak ortaya çıkar. Kayıp olarak açığa çıkan ısı enerjisinin miktarı devrenin verimliliğini belirler. Düşük verimli cihazlar hem daha fazla enerji tüketir hem de daha fazla ısınır.

Literatürde birçok DA dönüştürücü topolojisi bulunmaktadır. Düşürücü Dönüştürücü (DD), temel DA dönüştürücü topolojilerinden biridir. Elde edilen çıkış gerilimi giriş geriliminden küçük olduğundan bu dönüştürücüye DD denir. Basit bir yapıya sahip olan dönüştürücü tam kontrollü yarı iletken bir güç elemanı, bir diyot ve bir endüktanstan (bobin) oluşur. Dönüştürücünün verimi kullanılan devre elemanlarına bağlı olarak değişir. Nominal çalışma durumu dikkate alınarak tasarlanan dönüştürücünün verimi tüm çalışma koşullarında aynı değildir.

DD'nin bir türü olan Senkron Düşürücü Dönüştürücüler (SDD), günümüzde endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. SDD'nin kullanıldığı uygulamalara örnek olarak pil şarj devreleri, bilgisayarlar, telefonlar, televizyonlar verilebilir. SDD'de DD'den farklı olarak diyot yerine bir anahtarlama elemanı kullanılır. Bu devre topolojisini entegre bobinli, entegre anahtarlı veya sadece kontrolör olarak bulmak mümkündür. Ayrıca mikroşlemci kontrollü olan türleri de mevcuttur.

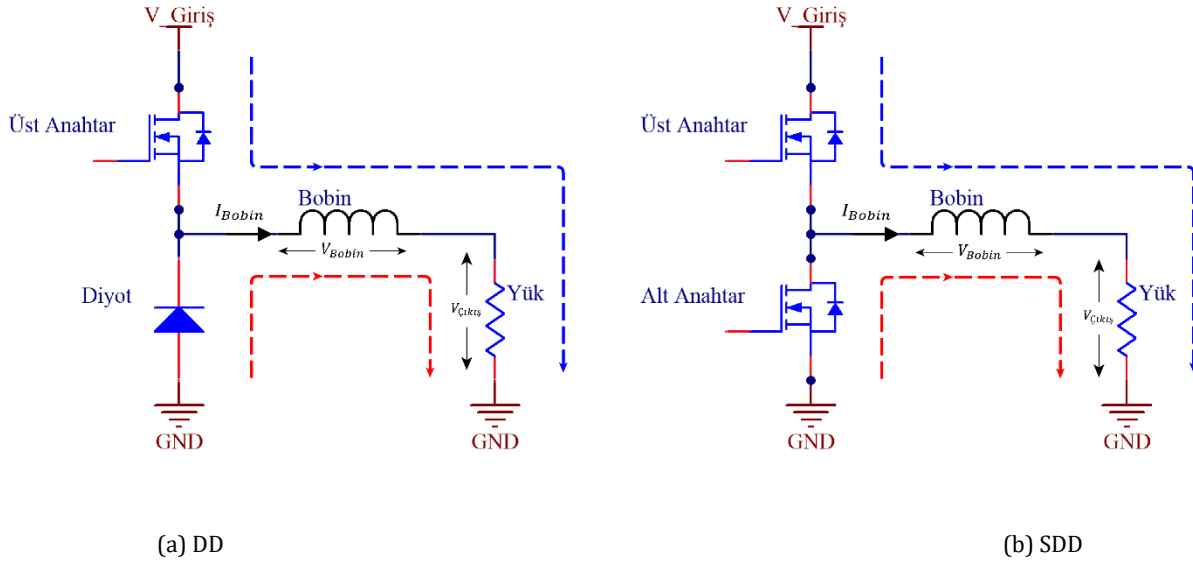
Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, SDD'nin veriminin DD'ye göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Verimdeki artış; diyot yerine kullanılan yarı iletken anahtarın, iletim gerilim düşümü ve bunun sonucu olarak iletim güç kaybının daha az olmasından kaynaklanmaktadır (Yıldız vd., 2016; Haque vd., 2020; Haque vd., 2021). Ayrıca diyotun ters toparlanması esnasında meydana gelen güç kayıplarının oluşmaması da verimin artışında etkilidir. SDD'nin veriminin DD'den daha iyi olduğunu doğrulamak amacıyla TI WEBENCH programında 24V giriş geriliminden 5V çıkış gerilimi elde etmek için, DD (LM2596) (Texas Instruments, 2021) ve SDD (TPS56339) (Texas Instruments, 2019) farklı çıkış akımları altında çalıştırılmıştır. Dönüştürücülerin çıkış akımına bağlı verim eğrileri Şekil 1'de verilmiştir. Verim eğrilerinden de görüleceği gibi tüm çıkış akımlarında SDD'nin verimi DD'den daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 1. Verim eğrileri (Efficiency curves)

Endüktans akımının sürekli olması ve kararlı çalışma durumunda, DD ve SDD'nin bir anahtarlama periyodunda iki çalışma aralığı oluşur. Bu aralıklar aynı zamanda üst anahtarın iletim (T_{iletim}) ve kesimde (T_{kesim}) olduğu süreler olarak da tanımlanır. Birinci aralıkta kontrol sinyali uygulanmış olan üst anahtar iletimdedir ve giriş gerilim kaynağı endüktansa enerji aktarır ve çıkışı besler. Bu aralıkta endüktans akımı artar. Üst anahtarın kontrol sinyalinin kesildiği ikinci aralıkta anahtar kesimdedir ve giriş gerilim kaynağı ile endüktansın bağlantısı kopar. Bu aralıkta endüktans çıkışı beslediği için endüktans akımı düşer. DD ile SDD arasındaki fark bu aralıkta meydana gelir. DD'de endüktans akımını çıkışa diyot iletirirken, SDD'de alt anahtar iletime girip endüktans akımını çıkışa

aktarır. Dönüştürücülerin çalışma aralıklarına ait akım yolları Şekil 2'de verilen devre şemalarında gösterilmiştir. Burada mavi ve kırmızı çizgiler sırasıyla üst anahtarın iletim ve kesim aralıklarında oluşan akım yollarını göstermektedir. SDD'ye ait iletim ve kesim aralıklarında bobin uçlarındaki gerilimin ifadesi Formül (1) ve (2)'de verilmiştir. Burada $V_{Giriş}$, $V_{Çıkış}$, V_{Bobin} sırasıyla giriş, çıkış ve bobin gerilimlerini, I_{Bobin} bobin akımını, $r_{dsiletim}$ üst ve alt anahtar olarak kullanılan MOSFET'in iletim direncini, R_{Bobin} bobinin eşdeğer seri direncini ve $R_{yük}$ yük direncini göstermektedir. Kararlı çalışma durumunda bir anahtarlama periyodu içerisinde bobin uçlarındaki gerilimin ortalaması sıfır olması gerektiğinden Formül (1) ve (2) eşitlenerek düzenlendiğinde Formül (3)'de verilen çıkış geriliminin giriş gerilimine bağlı ifadesi elde edilir.



Şekil 2. Dönüştürücülerin çalışma aralıklarına ait akım yolları
(Current paths of operating intervals of converters)

$$V_{Bobin} = V_{Giriş} - V_{Çıkış} - I_{Bobin}(r_{dsiletim} + R_{Bobin}) \quad (1)$$

$$V_{Bobin} = -V_{Çıkış} - I_{Bobin}(r_{dsiletim} + R_{Bobin}) \quad (2)$$

$$V_{Çıkış} = \frac{R_{Yük}}{(R_{Yük} + r_{dsiletim} + R_{Bobin})} \frac{T_{iletim}}{(T_{iletim} + T_{Kesim})} V_{Giriş} \quad (3)$$

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde SDD devrelerinin verimi artırmak amacıyla devre topolojisine ilave eleman eklendiği ya da karmaşık kontrolcülerin kullanıldığı görülmektedir. İlave aktif ve pasif elemanların kullanıldığı yumuşak anahtarlama tekniklerinden sıfır gerilimde anahtarlama (Zero Voltage Switching - ZVS) ve sıfır gerilimde geçiş (Zero Voltage Transition - ZVT) ile anahtarlama kayıpları azaltılarak devre verimi artırılmıştır (Talebian vd., 2021; ; Shen vd., 2020). Yeni bir frekans modülasyonu tekniğinin önerildiği (Chang vd., 2019) çalışmada, özellikle düşük çıkış akımlarında verimin artırılması sağlanmıştır. Gallium Nitride (GaN) ve Silicon carbide (SiC) yarı iletken malzemeleri ile üretilen yeni nesil anahtarlar kullanılarak devre veriminin etkisi incelenmiştir (Huang vd., 2015; Wentzel vd., 2020; Stephens, 2021). Tasarım sorunlarını, sınırlamalarını iyileştirmek ve devre performansını arttırmak amacıyla mikrodeneyleyici ve alanda programlanabilir kapı dizileri (Field-Programmable Gate Array - FPGA) kullanılarak kontrol sinyalleri üretilmiştir (Li, 2003; Koutroulis vd., 2001; Erfidan ve Coruh, 2009; Kumar ve Thakura, 2017; Kroics, 2013). Ayrıca fotovoltajik paneller için mikrodeneyleyici tabanlı maksimum güç noktası izleme uygulamaları da vardır (Koutroulis vd., 2001; Koran vd., 2013; Viswanatha 2018). 8051 tabanlı bir mikroişlemci ile tek fazlı evirici kontrolcü uygulaması, hem düşük maliyet ve temel seviyede bir mikroişlemci ile güç kontrol uygulamalarının gerçekleştirilebileceği sunulmuştur (Prasad vd., 2009).

Düşük çıkış geriliminde yüksek akımlar elde etmek için Çok Fazlı SDD devreleri kullanılır. Çok fazlı SDD'lerin aralıklı çalışması, akım ve gerilim dalgalanmalarını azaltmaktadır. Fakat dönüştürücünün kontrolü, aralıklı ve senkron çalışması nedeniyle daha karmaşıktır (Abe vd., 2007; Varghese vd., 2021; Piispanen, 2019; Morais ve Martins, 2022; Shen vd., 2020; Kim vd., 2009). Buna ek olarak yeniden programlanabilir mikroişlemciler ve bu durumun getirdiği esneklik ile karmaşık devrelerin kontrolünü kolaylaştırabilir (Sanchez vd., 2009). Giriş ve çıkış kondansatör değerleri daha düşük seçilebilir. Bu sayede hızlı geçiş cevabı elde edilebilir (Parisi, 2021). Dört fazlı

SDD devresinde bobin olarak simetrik kuplajlı endüktansın kullanılması durumunda verimin %2-%6 arttığı ifade edilmiştir (Nagaraja vd., 2010).

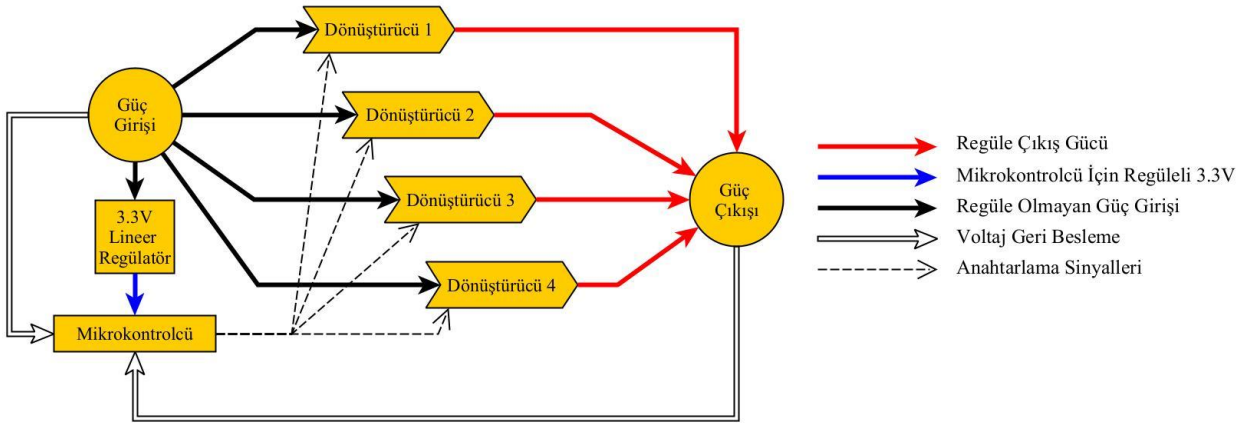
Bu çalışmada, çok fazlı SDD'nin farklı çalışma modları için verim değerleri elde edildi. Güç dönüştürücüsü farklı güç noktaları için ayrı ayrı optimizasyonu yapıldı. Dönüştürücü anahtarlama frekansı ve aktif dönüştürücü devre sayısı, güç dönüştürücünün çıkışındaki güce göre mikrodenetleyicideki algoritma ile dinamik olarak en verimli şekilde ayarlandı. Böylece farklı çalışma modları için devrenin genel veriminin artırılması sağlandı.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çok fazlı SDD devresini verim açısından incelemek üzere 4 adet özdeş özelliklerde SDD paralel bağlanmıştır. Devrenin kontrolünde mikroişlemci kullanılmıştır ve güç dönüşümünü sağlayan iki algoritma yazılmıştır. Devre sabit çalışma ve değişken çalışma modunda çalıştırılarak verim ölçümleri yapılmıştır. Bu modlara ek olarak çıkış gerilimini sabit tutmak için oransal integral (proportional integral-PI) kontrolör kullanılmıştır. PI parametreleri her iki algoritma için de aynıdır.

Sabit çalışma modunda, sabit bir anahtarlama frekansı ile aktif dönüştürücülerin sayısını değiştirmeden çıkıştaki gerilim sabit tutulur. Bu çalışma modundaki verim ölçümleri için, belirlenen frekanslarda farklı yük koşulları ile yük testleri yapılmıştır. Her çalışma koşulu için en verimli çalışma noktası tespit edilmiştir.

Değişken çalışma modunda, çıkıştaki yüke bağlı olarak devredeki aktif dönüştürücü sayısı ve anahtarlama frekansı aktif olarak değişmektedir. Bu modun kullanılabilmesi için öncelikle sabit çalışma modunda belirlenen maksimum çalışma noktaları algoritmaya bir tablo ile eklenir. Algoritma, çıkıştaki yüke bağlı olarak dönüştürücünün en verimli çalışacağı anahtarlama frekansına dinamik olarak geçer. Aynı zamanda gerekli sayıda dönüştürücüyü devreye alır veya devreden çıkarır. Dönüştürücünün kontrol ve güç katı blok şeması Şekil 3'te verilmiştir.



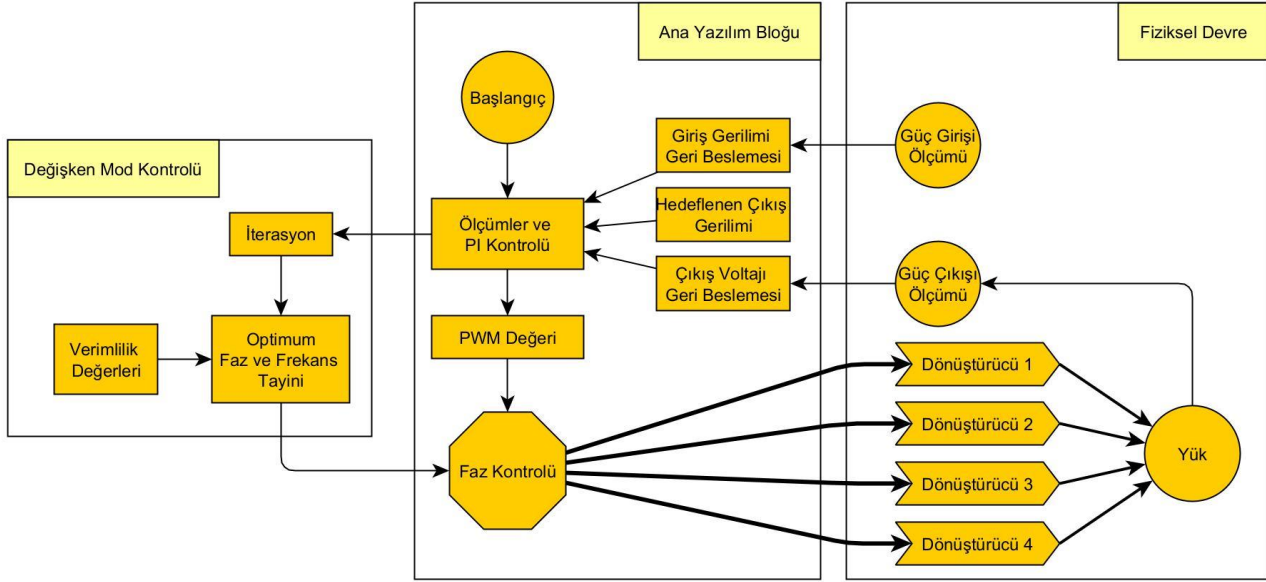
Şekil 3. Kontrol ve güç katı blok şeması (Control and power stage block diagram)

Devre ölçümlerinde hata payını azaltmak için ölçüm noktaları, kablo uzunlukları ve giriş gerilimi sabit tutulmuştur. Tüm ölçümler, devre kararlı durum sıcaklığına ulaştıktan sonra yapılmıştır. Aktif dönüştürücüler devredeki en kısa akım yoluna sahip olan dönüştürücülerdir. Mikroişlemci içinde çalışan PI denetleyici, her iki çalışma modunda aynı olmalıdır. Bu yüzden algoritma, PI denetleyicisinin aktif dönüştürücü sayısı ve anahtarlama frekansından etkilemeyecek şekilde hazırlanmıştır. Verim (η) değerleri, Formül (4)'te verilen denklemin kullanıldığı bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır. Buradaki akım ve gerilim değerleri dönüştürücülerden ölçülmüştür.

$$\eta = (V_{\text{Çıkış}} \cdot I_{\text{Çıkış}}) / (V_{\text{Giriş}} \cdot I_{\text{Giriş}}) \quad (4)$$

Önerilen algoritmaya ait yazılım akış şeması Şekil 4'te verilmiştir. Ana yazılım bloğu ile çıkıştaki gerilimin sabit tutulması sağlanır. Ayrıca, dönüştürücünün güvenli şekilde çalışmasını, kısa devre kontrolünü, maksimum bobin akım kontrolünü, girişteki ve çıkıştaki gerilim kontrollerini gerçekleştirir. Ana yazılım bloğu aktif çalışan fazları ve frekanslarını değiştirmez. Yazılım sabit çalışma modunda çalışırken değişken mod kontrolü devrede değildir. Sabit çalışma modu, devrenin her yük koşulu için verim değerlerini ölçmede kullanılır. Bu modda alınan ölçümler bir tabloya kaydedilir. Değişken çalışma modu devreye alındığında, ana yazılım bloğundaki hesaplanan ölçümler, verim tablosundaki değeri ya da en yakın değerdeki çalışma koşulları okunarak, çalışacak faz sayısı ile birlikte dönüştürücülerin çalışma frekansı belirlenir. Elde edilen sonuçlar ana yazılım bloğundaki faz kontrolü algoritmasına yönlendirilir. Bu algoritma dönüştürücülerin çalışmasını belirler ve sinyal genişlik modülasyonu

(Pulse Width Modulation - PWM) kontrol sinyallerini üretir. Uygulama devresinin giriş ve çıkışındaki gerilimler, mikroişlemcinin analog-dijital dönüştürücü (Analog to Digital Converter - ADC) bloğu yardımıyla ölçülür. Bu ölçümler ve uygulanan PWM sinyalleri doğrultusunda dönüştürücüdeki bobin akımları hesaplanır.



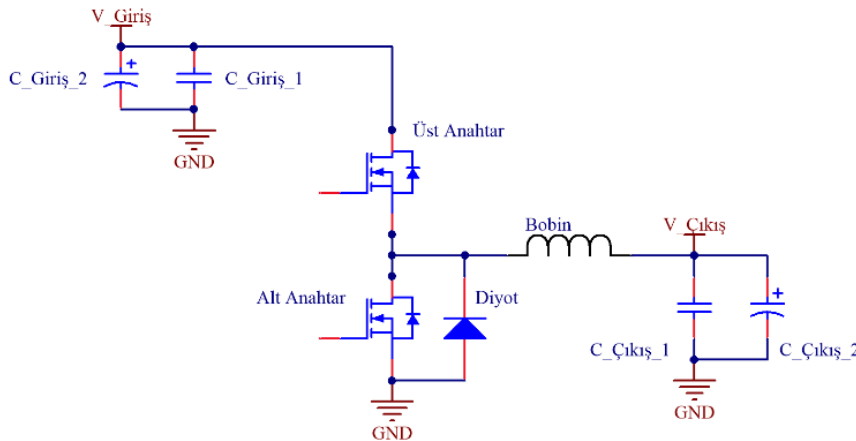
Şekil 4. Yazılım akış şeması (Software flow chart)

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Önerilen algoritmanın çok fazlı SDD'nin verimi üzerindeki etkisini göstermek üzere Şekil 3'te blok şeması verilen dönüştürücünün uygulama devresi gerçekleştirilmiştir. Bir faza ait SDD devre şeması Şekil 5'te verilmiştir. Devre iki yarı iletken güç anahtarı, bir endüktans ile giriş ve çıkışta bulunan elektrolitik ve seramik kondansatörlerden oluşmaktadır. Tasarımı yapılan SDD'ye ait parametreler Tablo 1'de verilmiştir. Deneysel devrede üst ve alt anahtarlama elemanı olarak AON7318 kullanılmıştır.

Devrenin çıkışındaki gerilim dalgalanmasını ve girişindeki akım dalgalanmasını azaltmak amacıyla her bir dönüştürücüye ait kontrol sinyali bir önceki dönüştürücünün kontrol sinyaline göre 90 derece faz farkı ile uygulanmıştır. Giriş ve çıkış gerilim değerleri mikrodenetleyici ile okunarak kapalı çevrim kontrol döngüsü ve ilgili algoritmada kullanılır. Mikrodenetleyici, tepe ve ortalama endüktans akımını hesaplamak için PWM sinyallerini üreten bir algoritma çalıştırır. Sistemin PWM ve ADC gereksinimlerini karşılamak için mikrodenetleyici olarak MKV44F64VLF7 kullanılmıştır.

Anahtarların sürme devrelerinin beslemesi ve gürültüden etkilenmemesi için devrenin girişinde filtreleme yapılmıştır. Mikrodenetleyici besleme gerilimi, giriş gerilim kaynağına bağlı 3.3V düşük çıkışlı regülatör ile sağlanmıştır. ADC ölçümlerinde kullanılan referans gerilimi de bu besleme hattından alınmıştır.

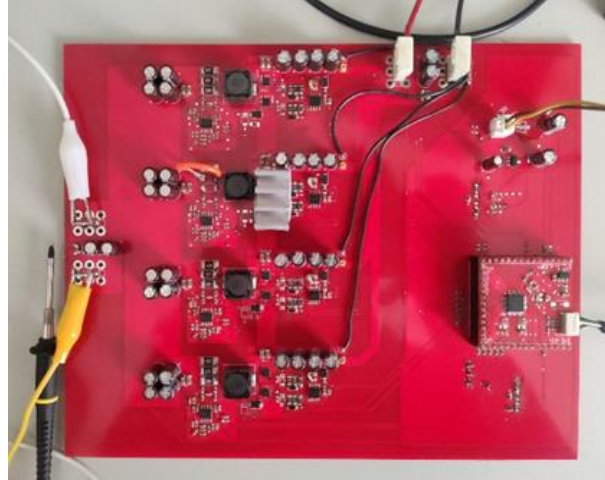
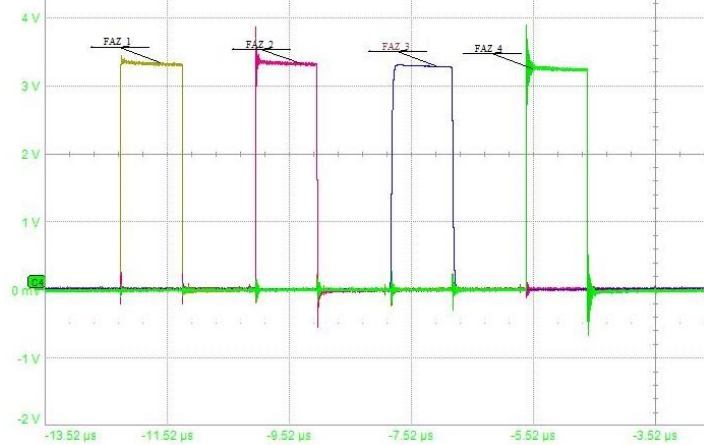


Şekil 5. SDD'nin bir fazına ait devre şeması (Circuit diagram of one phase of SDD)

Tablo 1. SDD Devresine ait tasarım parametreleri (Design parameters of SDD circuit)

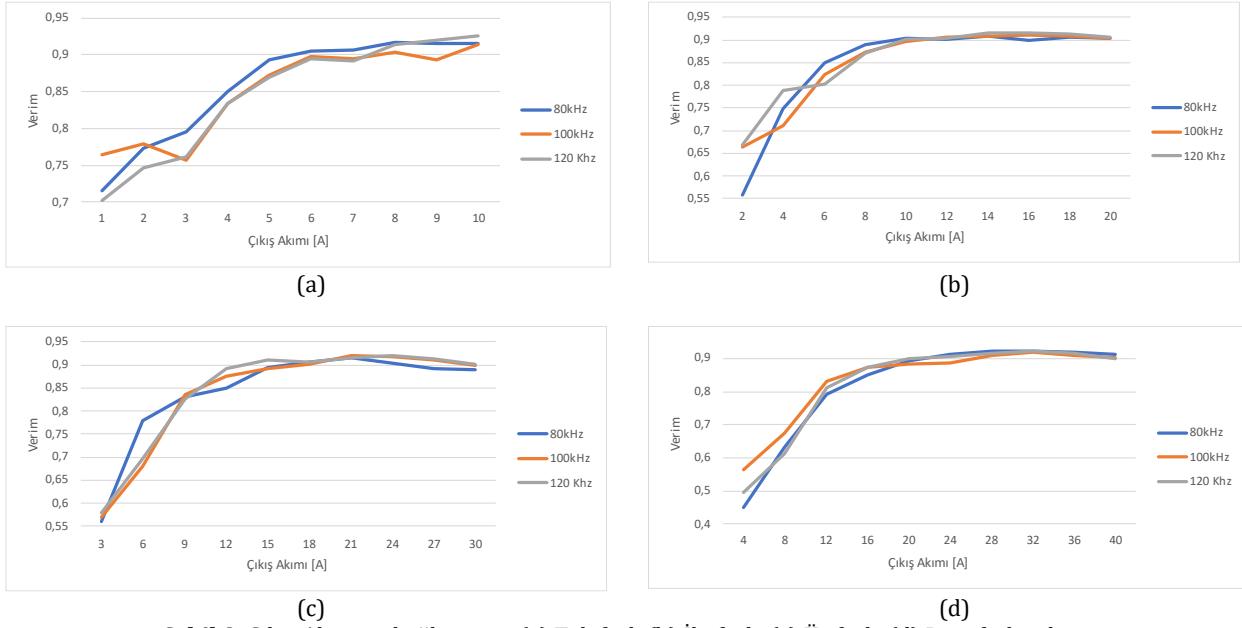
Parametre	Kısaltma	Değer
Giriş Gerilimi	$V_{Giriş}$	12 V
Çıkış Gerilimi	$V_{Çıkış}$	0-5 V
Nominal Yük Akımı (Dönüştürücü Başına)	$I_{Yük}$	10 A
Toplam Nominal Yük Akımı	$I_{Top.Yük}$	40 A
MOSFET İletim Direnci	$R_{dS_{iletim}}$	1.95 m Ω
Bobin Direnci	R_L	20 m Ω
Endüktans	L	4.7 μ H
Bobin Akımı Dalgalanması	ΔI_L	8 A
Çıkış Gerilimi Dalgalanması	$\Delta V_{çıkış}$	%1
Çıkış Kondansatörü	$C_{Çıkış}$	500 μ F
Anahtarlama Frekansı	f_s	80-100-120 kHz

Tasarım parametrelerine uygun olarak baskı devre kart (Printed Circuit Board – PCB) tasarımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'dan da görüldüğü gibi PCB birbirine paralel özdeş dört SDD devresi ve bu dönüştürücüleri kontrol eden bir mikrodenetleyiciden oluşmaktadır. Mikrodenetleyici, paralel bağlı devrelerin giriş ve çıkışlarından aldığı gerilim geri besleme değerlerine göre PWM kontrol sinyallerini üretir. Bu dönüştürücülerin kontrolünde farklı frekanslarda çalışabilen ve birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilen 8 adet PWM sinyali kullanılmaktadır. İlgili fazlar için üretilen üst ve alt anahtar kontrol sinyalleri ilgili anahtarlara uygulanır. Üst anahtar kontrol sinyallerine ait dalga şekilleri Şekil 7'de görülmektedir. Burada, üst elemanların kontrol sinyalleri arasında 90 derece faz farkı bulunmaktadır.

**Şekil 6.** Çok fazlı SDD devresinin PCB kartı (PCB board of multi-phase SDD circuit)**Şekil 7.** Üst anahtarların kontrol sinyalleri (High side control signals)

SDD devresi ilk olarak sabit çalışma modunda çalıştırılarak verim değerleri alınmıştır. Dönüştürücü bir fazlı, iki fazlı, üç fazlı ve dört fazlı olarak üç farklı anahtarlama frekansında (80-100-120kHz) çalıştırılmıştır. Devre çıkışında yük olarak direnç yükü kullanılmıştır. Farklı çıkış akım değerleri için ölçümler alınmıştır. Tek bir fazın tasarım akım limiti 10A olarak belirlenmiştir. Her bir fazdaki dönüştürücü akım limit değerine ulaşana kadar tüm çalışma durumları için işlem tekrar edilmiştir. Ölçümlerde Teledyne LeCroy dijital osiloskop ve Fluke true rms

dijital multimetre kullanılmıştır. Alınan ölçümler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen verim eğrileri çıkış akımına bağlı olarak Şekil 8 (a-d)'de verilmiştir. Nominal çalışma akımı civarında devre veriminin düşük akım değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



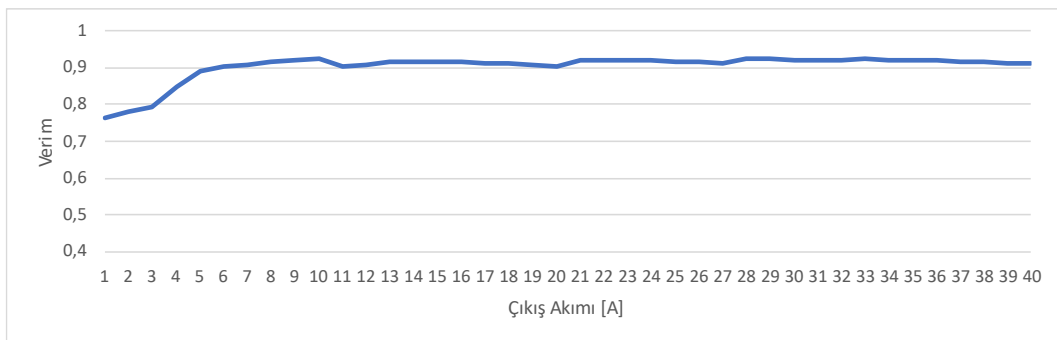
Şekil 8. Çıkış Akımına bağlı verim, (a) Tek fazlı (b) İki fazlı, (c) Üç fazlı, (d) Dört fazlı çalışma (Efficiency versus output current, (a) Single-phase (b) Two-phase, (c) Three-phase, (d) Four-phase operation)

Sabit çalışma modunda alınan ölçüm değerleri incelenerek, her bir çıkış akım değeri için optimum çalışma koşulu belirlenir. Böylece bütün çalışma akımı değerlerinde maksimum verimi elde etmek için kullanılacak dönüştürücü sayısı ve dönüştürücülerin çalışma frekansı belirlenmiş olur. Her bir çalışma koşuluna ait veriler Tablo 2'de verilmiştir. Oluşturulan tablo algoritmaya eklenerek değişken çalışma modunda dönüştürücünün kontrolü sağlanmıştır. Dönüştürücü tasarım akım limit değerine ulaşana kadar yük testleri tekrarlanarak ölçümler alınmıştır. Değişken çalışma modunda alınan ölçümler kullanılarak verim değerleri hesaplanmış ve çıkış akımına bağlı olarak verim eğrisi Şekil 9'da verilmiştir. Dönüştürücünün geniş çalışma akımı aralığında %90'nın üzerinde verimle çalıştığı görülmektedir.

Tablo 2. Çıkış akımına bağlı maksimum verimde çalışma koşulları (Operating conditions at maximum efficiency based on output current)

Faz sayısı	Çıkış Akımı (A)						
	1-2	3-8	9-10	11-12	13-20	21-27	28-40
1							
2							
3							
4							

Anahtarlama Frekansı 80 kHz 120 kHz 100 kHz



Şekil 9. Değişken çalışma modu ile kontrol edilen SDD devresinin çıkış akımına bağlı verim eğrisi (Efficiency curve depending on output current of SDD circuit controlled by variable mode of operation)

Değişken çalışma moduna ait verim değerlerinden sabit çalışma moduna ait verim değerleri çıkartılarak elde edilen fark değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Bu değerler dört farklı aktif faz durumu ve üç farklı çalışma frekansı için hesaplanmıştır. Geliştirilen algoritma sayesinde dönüştürücünün sabit çalışma modundan daha verimli

çalışmayı sağladığı tablodan da görülmektedir. Farkın sıfır olduğu çıkış akımı değerlerinde, sabit çalışma modunda tespit edilen noktalarda çalışıldığını göstermektedir. Düşük çıkış akımlarında aktif faz sayısı azken verimin arttığı görülmektedir. Yüksek çıkış akımlarında ise akımın tüm dönüştürücülere dağıtılması ve anahtarlama frekansının düşürülmesi ile verimin arttığı görülmektedir. Çok fazlı SDD devrelerinde değişken çalışma modunun kullanılması durumunda oluşan en düşük verim değeri sabit çalışma moduna ait verim değeri ile aynıdır. Geliştirilen algoritma ile anahtarlama frekansı ve aktif faz sayısı optimize edilerek çok fazlı SDD devrelerinin tüm çalışma koşullarında maksimum verimde çalışması sağlanmıştır.

Tablo 3. Değişken çalışma modu için verim farkı (Efficiency difference for variable operating mode)

AKIM (A)	1 FAZ			AKIM (A)	2 FAZ		
	80kHz	100kHz	120kHz		80kHz	100kHz	120kHz
1	4,79	0,00	6,24	2	22,07	11,61	11,16
2	0,62	0,00	3,24	4	10,10	13,89	6,18
3	0,00	3,77	3,38	6	5,49	8,03	10,26
4	0,00	1,51	1,64	8	2,74	4,38	4,59
5	0,00	2,03	2,39	10	2,16	2,83	2,28
6	0,00	0,70	1,00	12	0,56	0,00	0,23
7	0,00	1,26	1,47	14	0,81	0,68	0,00
8	0,00	1,25	0,22	16	1,75	0,49	0,00
9	0,45	2,72	0,00	18	0,66	0,37	0,00
10	0,96	1,09	0,00	20	0,13	0,18	0,00

AKIM (A)	3 FAZ			AKIM (A)	4 FAZ		
	80kHz	100kHz	120kHz		80kHz	100kHz	120kHz
3	23,47	22,47	21,47	4	39,94	28,44	35,44
6	12,46	22,46	20,66	8	28,31	24,11	30,41
9	9,02	8,52	9,42	12	11,31	7,41	9,41
12	5,61	3,11	1,31	16	6,45	4,35	4,25
15	2,00	2,30	0,50	20	1,36	2,36	0,46
18	0,65	1,25	0,65	24	1,00	3,40	1,40
21	0,50	0,60	0,00	28	0,00	1,40	0,80
24	1,80	0,20	0,00	32	0,00	0,20	0,10
27	2,00	0,10	0,00	36	0,00	1,10	0,30
30	3,10	2,10	1,90	40	0,00	1,00	1,20

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, çok fazlı SDD devresinin tüm çıkış akımlarında maksimum verimle çalışmasını sağlamak için yeni bir algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritmanın doğruluğunu göstermek üzere dört fazlı uygulama devresi gerçekleştirilmiştir. Devrenin kontrolünde mikrokontrolcü kullanılmıştır. Dönüştürücü üç farklı anahtarlama frekansı için sabit ve değişken çalışma modlarında çalıştırılmıştır. Her bir çalışma modu için verim değerleri tespit edilmiştir. Sistemin çalışma frekansı ile aktif faz sayısı, belirlenen çıkış akım aralığında optimize edilmiştir. Geliştirilen algoritma sayesinde, değişken çalışma modu ile dönüştürücünün geniş çıkış akım aralığında %90'nın üzerinde verimle çalışması sağlanmıştır. Düşük çıkış akımlarında aktif faz sayısı minimumda tutulması gerektiği görülmüştür. Yüksek çıkış akımlarında aktif dönüştürücü sayısının artırılması ve anahtarlama frekansının düşürülmesi ile maksimum verimin elde edildiği görülmektedir. Maksimum verim ilave bir eleman kullanılmadan sağlandığından devrenin maliyetinde artış olmamıştır. Geliştirilen algoritma dörtten fazla faz sayısına sahip SDD devrelerine kolaylıkla adapte edilebilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Abe, K., Nishijima, K., Harada, K., Nakano, T., Nabeshima, T., & Sato, T., 2007. A novel multi-phase buck converter for lap-top pc. Power Conversion Conference-Nagoya, 885-891.
- Chang, R. C. H., Chen, W. C., & Huang, J. K. S., 2019. A 93.4% efficiency 8-mV offset voltage constant on-time buck converter with an offset cancellation technique. IEEE transactions on circuits and systems II: express briefs, 67 (10), 2069-2073.
- Erfidan, T., & Coruh, N., 2009. Microcontroller based soft-switched buck converter. 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 1381-1385.

- Haque, M. R., Das, S., Uddin, M. R., Leon, M. S. I., & Razzak, M. A., 2020. Performance Evaluation of 1kW Asynchronous and Synchronous Buck Converter-based Solar-powered Battery Charging System for Electric Vehicles. *IEEE Region 10 Symposium*, 770-773.
- Haque, M. R., Eka, S. Z., Ferdous, S., & Razzak, M. A., 2021. Analysis of Loss Profile and Thermal Distribution of Heat Sink of IGBT-Based Asynchronous and Synchronous Buck Converters for EV Charging System. *5th International Conference on Electronics, Materials Engineering & Nano-Technology*, 1-6.
- Huang, X., Lee, F. C., Li, Q., & Du, W., 2015. High-frequency high-efficiency GaN-based interleaved CRM bidirectional buck/boost converter with inverse coupled inductor. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31 (6), 4343-4352.
- Kim, J. H., Lim, J. G., Chung, S. K., & Song, Y. J., 2009. DSP-based digital controller for multi-phase synchronous buck converters. *Journal of Power Electronics*, 9(3), 410-417.
- Koran, A., LaBella, T., & Lai, J. S. 2013. High efficiency photovoltaic source simulator with fast response time for solar power conditioning systems evaluation. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 29 (3), 1285-1297.
- Koutroulis, E., Kalaitzakis, K., & Voulgaris, N. C., 2001. Development of a microcontroller-based, photovoltaic maximum power point tracking control system. *IEEE Transactions on power electronics*, 16(1), 46-54.
- Kroics, K., 2013. Digital control of variable frequency interleaved DC-DC converter. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, pp. 124-129.
- Kumar, S., & Thakura, P., 2017. Microcontroller based DC-DC Cascode Buck-Boost Converter. *Third International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics*, 289-294.
- Li, Q. M., 2003. A low-cost configurable PWM controller using programmable system-on-chip. *34th Annual Conference on Power Electronics Specialist*, 3, 1169-1174.
- Morais, V., & Martins, A., 2022. Modelling, Analysis and Control of Multiphase Synchronous Buck Converters. *Journal of Electrical Systems*, 18 (1), 132-149.
- Nagaraja, H. N., Kastha, D., & Petra, A. (2010). Design principles of a symmetrically coupled inductor structure for multiphase synchronous buck converters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(3), 988-997.
- Parisi, C., 2021. Multiphase Buck Design from Start to Finish (Part 1) Application Report. Texas Instruments.
- Piispanen, S., 2019. SIMPLIS efficiency model for a synchronous multiphase buck converter. *Yüksek Lisans Tezi, Tampere Üniversitesi, Finlandiya*.
- Prasad, S.A.H., Kariyappa, B. S., Nagaraj, R., & Thakur S. K., 2009. Micro Controller Based Ac Power Controller. *Wireless Sensor Network*, 2, 61-121.
- Sanchez, J., & Canton, M. P., 2009. *Microcontroller Programming the microchip pic*, 1st edition.
- Shen, W., Renken, F., & Lascu, D., 2020. A New Multiphase ZVT-PWM Synchronous Buck Converter. *International Symposium on Electronics and Telecommunications*, 1-4.
- Stephens, K. P., 2021. Multiphase Buck Converter Implementing Gallium Nitride Semiconductors. *Bitirme Projesi Sonuç Raporu, California Politeknik Eyalet Üniversitesi, ABD*.
- Talebian, I., Alavi, P., Marzang, V., Babaei, E., & Khoshkbar-Sadigh, A., 2021. Analysis, Design, and Investigation of a Soft-Switched Buck Converter with High Efficiency. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 37 (6), 6899-6912.
- Texas Instruments, 2019. TPS56339 Datasheet, SLVSEI2A.
- Texas Instruments, 2021. LM2596 Datasheet, SNVS124F.
- Tutayev, G., Bobrov, M., Fedotov, Y., Dubov, N., & Artamonov, V., 2019. Research of IGBTs Thermal Modes in Power Converters. *International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency*, 478-481.
- Varghese, M., Manjunatha, A., & Snehaprabha, T., 2021. Method for improving ripple reduction during phase shedding in multiphase buck converters for SCADA systems. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 24 (1), 29-36.
- Viswanatha V., & Venkata S. R. R., 2018. Microcontroller based bidirectional buck-boost converter for photo-voltaic power plant. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 5 (3), 745-758.
- Wentzel, A., Hilt, O., Würfl, J., & Heinrich, W., 2020. A highly efficient GHz switching GaN-based synchronous buck converter module. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, 12 (10), 945-953.
- World Energy & Climate Statistics, 2022. *World Consumption Statistics, Yearbook*.
- Yıldız, B., Gülbahçe, M. O., & Kocabaş, D. A., 2016. Nonideal Analysis and Voltage Mode Control of a Synchronous Buck Converter. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 392-396.



YEŞİL BİNA ÜRETİMİNDE LEED SERTİFİKALI YEŞİL OFİSLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Rüveyda KÖMÜRLÜ¹, Fatmanur ÖZDEMİR^{2*}

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kocaeli, Türkiye

² Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Kocaeli, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Yeşil Bina Üretimi,
Yeşil Ofis,
Sürdürülebilirlik,
LEED Sertifikası.*

Öz

Gün geçtikçe büyüyen ve son 200 yıldır artan çevresel sorunlar insanlığın odak noktası haline gelmiştir. Yapı üretimi de, oluşturdukları çevre etkilerini azaltmak adına sertifika sistemleri oluşturulmuştur. Bu çalışmada bu sertifika sistemlerinden biri olan LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) sertifikası almış, 5 ofis yapısının kategori ve kriterleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Bulgular ışığında yapılarda LEED sertifikası alınırken en çok hangi kriterlerin gerçekleştirildiği ve hangi kriterlerde eksik kaldığını saptanmak hedeflenmiştir. Yapılan karşılaştırılmalı veri analizi çalışmasında, alınan puanları seçilen yapılar arasında genelleyerek yüzdesel verilere ulaşılmıştır. Ulaşılan verilere göre sertifika kategorilerinden en düşük puan yüzdesine sahip olan kategoriler "Malzeme ve Kaynak" ve "İç Mekan Hava Kalitesi" olduğu görülmüştür. En yüksek puan yüzdesine sahip olan kategori ise "Su Verimliliği" kategorisidir. Bu eksikliklerin büyük ölçüde malzeme ve inşaat sektörünün yenilikçi bir bakış açısına sahip olmamasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışmanın, yeşil bina sertifika sistemlerinin, ülkemizde eksik kalan noktalarını tespit etmekte ve bu eksikliklerin giderilmesi adına yapılacak çalışmalar için yararlı olacağı düşünülmektedir.

COMPARISON OF LEED CERTIFIED GREEN OFFICES IN GREEN BUILDING PRODUCTION

Keywords

*Green Building Production,
Green Office,
Sustainability,
LEED Certification.*

Abstract

Growing and increasing environmental problems for the last 200 years have become the focal point of humanity. In building production, certification systems have been established in order to reduce the environmental effects they create. In this study, comparisons were made between 5 office structures that received the LEED certificate, which is one of these certification systems. While making these comparisons, it is aimed to determine which criteria are most fulfilled and which criteria are missing while obtaining LEED certificate in buildings. In the comparative data analysis study, percentage data were obtained by generalizing the scores obtained in the criteria among the selected office structures. According to the data obtained, the categories with the lowest score percentages among the certificate categories were "Material and Resource" and "Indoor Environmental Quality". The category with the highest score percentage is the "Water Efficiency" category. It has been concluded that these deficiencies are largely due to the material and construction sector not having an innovative perspective. It is thought that the study will be determine the missing points of the green building certification systems in our country and will be useful for the studies to be done in order to eliminate these deficiencies.

Alıntı / Cite

Kömürlü, R., Özdemir, F., (2023). Yeşil Bina Üretiminde LEED Sertifikalı Yeşil Ofislerin Karşılaştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 264-278.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

R. Kömürlü, 0000-0002-0665-481X
F. Özdemir, 0000-0001-6966-6802

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	30.07.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	23.10.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	11.11.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: fatmanur.ozdemir.1789@gmail.com, +90-537-222-5484

COMPARISON OF LEED CERTIFIED GREEN OFFICES IN GREEN BUILDING PRODUCTION

R. KÖMÜRLÜ¹, F. ÖZDEMİR^{2†}

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kocaeli, Türkiye

² Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Kocaeli, Türkiye

Highlights

- In the study, it was concluded that sectors such as materials and chemistry, which are related to building production, directly affect the spread of green building production.
- It has been seen that the failure of demolition to be carried out in accordance with the demolition regulations has caused a fall in the material and resource categories in the production of green buildings.
- In addition to applying design in green building production, there is also a problem arising from the supply-demand balance. It has been concluded that the important point here may be the user demand as well as the certificates of the buildings.

Graphical Abstract

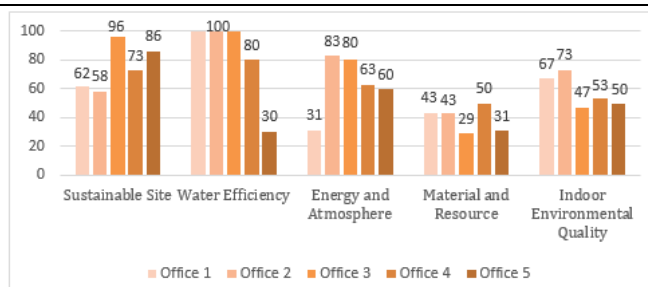


Figure. Success percentages of 5 office structures in categories

Purpose and Scope

In this study, examinations were made on the LEED certificate, which rated green offices, one of the green building types. The aim of the study is to examine the categories determined in buildings that have received LEED certificate. In the direction of these examinations, it was tried to determine what the obstacles encountered in our country are.

Design/methodology/approach

While forming the general framework of the article, it was tried to access information about the score-cards and construction processes of the structures that received LEED certificate. As a result of these information, comparative data analysis was made on five selected structures and the mentioned data were presented with tables and graphics.

Findings

According to the data obtained as a result of the examinations, the most successful category in buildings is the "Water Efficiency" category. Considering the water efficiency category, it is seen that the use of rain water in the buildings and water management are ensured with efficient armatures. "Material and Source" and "Indoor Environmental Quality" categories were found to be weak categories. When the analyzes made in the light of the information shared by the companies are examined, it is seen that there are generally problems related to recycling in the criteria under the category of materials and resources. The reuse of non-bearing inventories in buildings is one of the missing issues. In addition, studies can be carried out to spread the use of certified wood. It is seen that the deficiency in the indoor environmental quality category is caused by the materials containing VOC (Volatile Organic Compounds) used in the buildings. In the researches, it has been determined that TiO₂ films break down the pollutants produced by the VOC release and render them harmless. This and similar studies are promising for eliminating indoor pollutants.

Originality

In the study, green offices, which are a more specialized type of building, were chosen as the working area by leaving the green buildings in general. In the analyzes made, a comprehensive examination was carried out on the design criteria of the buildings and the conditions required from the buildings. As a result of these examinations, problems were identified and it was tried to draw attention to the missing points in this field in our country.

[†] Corresponding author: fatmanur.ozdemir.1789@gmail.com, +90-537-222-5484

1. Giriş (Introduction)

18. yüzyılda Sanayi Devrimi'nden sonra sanayileşmenin etkisi ile kentsel nüfuzda artış görülmüştür. Gelişen teknoloji ve tarımda makineleşmeye gidilmesi, kırsal nüfusun kentlere göç etmesiyle sonuçlanmıştır. Bu durum beraberinde yeni insan ihtiyaçları doğurmuş, enerji ihtiyaçları giderek artmıştır. Bu tarihlerde enerji ihtiyacı 35 yıl öncesine göre 2 katına çıkmıştır. Bununla beraber bu sorun fosil yakıtların sınırlı olduğuna da işaret etmiştir. 1973-79 seneleri arasında yaşanan petrol krizi ile "tasarruf" kavramı da gün yüzüne çıkmıştır (Ambarcı vd., 2012). Buna paralel olarak mimaride de ortaya çıkan enerji tasarrufu kavramı, yapıların enerji performanslarının irdelenmesini beraberinde getirmiştir. Bu irdelenmeler mimari tasarım anlayışında değişimlere neden olmuş ve bu değişim zamanla gelişerek kendi kendine yetebilen yapılara kadar evrilmiştir.

Günümüzde yaşanmakta olan pandemi öncesine kadar dahi insanlar yaşantılarının yaklaşık olarak %90'ını kapalı alanlarda geçirmekteydiler (Awada vd., 2021). İç mekânları daha da fazla kullanmak zorunda kaldığımız bu dönemde, kullanıcıların sağlıklı bir çevrede bulunabilmeleri ve bu çevrede kendilerinin de her konuda sağlıklı kalabilmeleri için kullanıcı odaklı tasarım çok önemli bir husustur. Yukarıda bahsettiğimiz tasarımda yaşanan bu değişimler aşamasında klasik yapı tasarım anlayışında dikkat edilen işlev ve kullanıcı ihtiyaçları yine göz önünde bulundurulmaktadır. Çalışma ihtiyacından dolayı inşa edilen ofis yapıları da buna uygun olarak tasarlanması gerekmektedir. Bir ofis yapısında temiz hava, iç mekân hava kalitesi, manzara, gün ışığı gibi unsurlar iş stresini azaltıp sağlıklı bir iş ortamı oluşturmaktadır (Xue vd., 2016). Bu unsurlarla klasik yapı tasarımı anlayışına göre tasarlanan ofis yapıları tasarlanırken görsel konforu artırmak ve gün ışığından faydalanmak için cam yüzey oranları artmıştır. Yapılan gökdelenler enerji verimliliği açısından zayıf performanslar göstermiştir (Sev ve Başarır, 2011). Böylece ofis yapılarında da enerji etkin tasarımlar yapma yolunda gelişmeler başlamıştır.

Tüm bu gelişimler yapı tasarımında kapsamlı prensiplerin doğuşuna sebep olmuştur. Sürdürülebilir tasarım bunlardan birisidir. Enerji etkinliğini merkeze alan bu tasarım prensibi; kaynak kullanımını, karbon emisyonu, çevre kirliliği gibi birçok tasarım unsurunu içinde barındırmaktadır. Günümüzde küresel anlamda ofis ve konut yapılarında kullanılan işletme enerjisi, yapıların yaşam döngüsü boyunca kullandığı enerjinin %70-90'ını oluşturmaktadır (Ramesh vd., 2010). Dolayısıyla ofis yapıları sürdürülebilir tasarımın uygulanması gereken en önemli yapı tiplerinden biridir.

Geçmişte sürdürülebilirlik fikri üzerine ortaya çıkan bir kavramda "yeşil bina" kavramıdır. Bu kavram sürdürülebilir tasarım kriterlerinden oluşan daha kapsamlı hale içeriğe sahip olan bir pratiktir. Dünyada birçok yapı tipine uyarlanarak özelleştirilmiş ve standartlaştırılmaya başlanmıştır. Ülkemizde hali hazırda bulunan ve yeniden inşa edilen ofis yapıları ise belirlenen standartlardan sertifikalar alarak yeşil ofis olmaya çalışmaktadır. Alınan sertifikalar genellikle yabancı ülkelerin hazırladıkları sertifikalardır. Fakat 2019 yılından bu yana Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından hazırlanan yerli sertifika sistemimiz olan YES-TR'yi geliştirmek üzere çalışmalar yürütülmektedir (ÇŞB, 2020).

Çalışmanın ikinci bölümünde bahsettiğimiz kavramları daha kapsamlı bir şekilde açıklayarak, çalışmanın temelini oluşturan bazı kavramlara da ışık tutulmuştur. Kaynak araştırmasında kavramlarla ilgili temel açıklamalara yer verilmiştir. Ardından incelenecek yapılar hakkında kısa bilgiler verilerek çalışma metodu üzerinde durulmuştur. Daha sonra ise bu metod aracılığıyla analizler yapıp sunulmuştur. Son olarak da tüm sonuçları bir araya getirerek çıkarımlarda bulunulmuştur.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

2.1. Sürdürülebilirlik Kavramı (Concept of Sustainability)

Sanayi Devrimi'nden sonra dünya, gelişmiş ülkelerin başı çektiği hızlı bir kalkınma süreci içine girmiştir. Artan üretim ve tüketim süreci ile kaynakların hızla tükenip çevre dengesinin hızla bozulduğu görülmüştür (Ergün ve Çobanoğlu, 2012). Bu olaylar neticesinde "sürdürülebilirlik" kavramı ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilirlik, ekonomik, sosyal ve çevresel ölçütleri göz önünde bulundurarak sonraki nesillere yaşanılabilir bir dünya bırakmayı hedefleyen kapsamlı bir bakış açıdır.

1992 yılında imzalanan Maastricht Antlaşması'nda "Sürdürülebilir Yapı" kavramı şu şekilde açıklanmıştır;

- Enerji ve kaynakların korunmasını sağlayan,
- İçinde bulundurduğu yapı bileşenlerinin yeniden kullanılabilirliğine olanak sağlayan, yaşam döngüsü süresince minimum düzeyde toksin madde yayan,
- İklimsel, kültürel, çevresel koşullarla uyumlu,
- İnsan yaşamının kalitesini artıran, öte yandan insanın içinde yaşadığı ekosisteme herhangi bir düzeyde zarar vermeyen yapılar olarak tanımlanmaktadır (Güler, 2015).

2.2. Yeşil Bina Kavramı (Concept of Green Building)

Dünyada sürdürülebilirlik her alanda gelişmeye devam etmektedir. Günümüzde birçok sektör gelişim stratejilerini sürdürülebilir fikirler üzerine kurmuştur. Bu gelişim mimari tasarımı da etkilemiştir. Bu etkinin üzerine doğmuş yeşil binaları en genel anlamda tanımlamak gerekirse; yaşam döngüleri boyunca kaynak kullanımı, çevreye ve insan sağlığına olan zararı minimum düzeyde tutan, ekonomik, ergonomik, yüksek performanslı binalardır.

Klasik bina tasarımı anlayışından koparak, sürdürülebilir bir anlayışla yapılan binalar olarak da tanımlanabilir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency- EPA)'na göre yaşam döngüsü boyunca (tasarım, yapım, kullanım, yıkım süreçleri) bulunduğu çevreye en az zarar veren ve kaynakları en az tüketen binadır (Çelebi, 2018).

2.3. Yaşam Döngüsü Kavramı (Concept of Life Cycle)

Bir yapının, kendisini oluşturan malzemelerin hammadde halinde çıkarılmasından itibaren, yapının yıkım sonrasına kadar olan süreçlerin tamamına yaşam döngüsü denir. Bu aşamalar sırasında yapının çevreye birçok etkisi olur. Bu etkilerin ortadan kaldırılması veya etkilerin azaltılması için yaşam döngüsü kavramını proje yönetimi içerisine dâhil etmek gerekir.

Klasik yapı yapım anlayışına göre bir yapı ömrünü tükettikten sonra yıkılmaya mahkûmdur. Fakat sürdürülebilir bakış açısı yapının ömrünü uzatmak için yollar aramıştır. Bu bakış açısına göre klasik anlayış olan beşikten- mezara anlayışı yerine beşikten- beşiğe anlayışı ile tasarım yapılmaktadır (Paulsen, 2001).

2.4. Yeşil Ofisler (Green Offices)

Kaynakların tüketimi, atıkların kontrolünün sağlanamaması, karbon emisyonu gibi birçok durum çevresel problemleri beraberinde getirmiştir. 2013 yılında Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change)'nde açıklanan rapora göre, atmosferdeki karbondioksit, metan ve azot yoğunluğu son 800.000 yılın en yüksek seviyelerine yükselmiştir. Bu seviyenin sanayileşmeden bu yana %40 oranında arttığı görülmektedir. 2021 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP-The United Nations Environment Programme)'in tarafından yayınlanan Emisyon Açığı Raporu, 2030 yılına kadar sera gazı salınımının yarı yarıya düşürülmemesi halinde, yüzyılın sonuna kadar küresel ısınmayı 1,5 °C ile sınırlamanın çok zor olacağını ortaya koymuştur. Bugün, zararlı salınımları engellemek adına alınan kararların etkileri 20 yıl içinde ortaya çıkacak olup, bu yüzden önümüzdeki 20 yıl gezegenimizin geleceği için kritik olacaktır (IPCC, 2021).

İnşaat sektörü içme suyu rezervlerinin %12'sini, kullanılabilir enerjinin %28'ini tüketmektedir. Bunun yanında dünya üzerinde karbon salınımının %50'sine, atıkların ise %45-60'ına sebep olmaktadır (Kömürlü, 2018). Veriler ışığında bakıldığında inşaat sektörü çevresel anlamda dengeyi bozmakta ve işletmeciler için klasik yapı anlayışıyla yapılan yapılarda, yapıda yapım, işletim ve yıkım evrelerinin ekonomik faaliyetleri, yeşil bina tasarım fikri ile yapılan yapılara göre çok daha az hesaplı olduğu görülmektedir. Yeşil bina sertifikası almış yapılar, sertifika almamış yapılara kıyasla, enerji kullanımında %24-50, karbon emisyonunda %13-39, su kullanımında %30-50, katı atık miktarında %70, bakım maliyetinde %13 oranında tasarruf sağlamaktadır (Öztürk, 2015). Bu tip çevresel sorunlar üzerine çevreci kuruluşlar ve devletler tarafından birçok yaptırım uygulanmaktadır. Bu yaptırımlar inşaat sektörü olmak üzere birçok sektörün daha çözüm odaklı stratejiler geliştirmesine sebep olmuştur. Bu stratejiler hem ekonomik dengeyi hem de çevresel dengeyi korumak için planlanmıştır.

Son yıllarda yeşil bina sertifika sistemleri sayesinde yapılan puanlandırmalar ve verilen sertifikalar kurumların sertifika talep etmeleri için teşvik oluşturmaktadır ve kurumlar saygınlık kazanmak için bu konuya eğilmeye başlamışlardır. Amerika Birleşik Devletleri Yeşil Bina Konseyi (United States Green Building Council-USGBC) tarafından yakın zamanda yapılan bir çalışma, konsey üyelerinin birçoğunun, üretkenliği artırdığı düşünülen yüksek kaliteli iç ortamların oluşturulmasında insani faydalar tespit edildikten sonra sürdürülebilir bina tasarımlarının daha yaygın bir uygulama haline geleceğine inandığını gösteriyor (Heerwagen; USGBC, 2000).

Yeşil bina üretimi fikri ile benzer olarak gelişen yeşil ofis üretimi fikri bundan dolayı önemlidir. İyi tasarlanmamış bir ofis yapısı, kullanıcının psikolojisini etkileyerek, verimliliklerine direkt olarak etki eder. Yeşil ofisler son kullanıcının ihtiyaçlarını karşılamayı hedefleyen yapılardır. Fakat yeşil ofis üretim fikri, sadece klasik yapı tasarımı ilkeleri ile sınırlı kalmayıp bununla birlikte, proje yönetim süreçlerini iyi bir şekilde işleyerek bu evrelere sürdürülebilir yapı tasarım ilkelerini de katarak son kullanıcıya kadar gelen süreçler bütününde tüm paydaşların memnuniyetini sağlamayı hedeflemektedir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışmada kullanılan metot daha önceden yapılmış akademik çalışmalarda uygulanan karşılaştırılmalı veri analizi metodudur. Bu çalışmalara örnek olarak Tsim vd., yaptıkları akademik çalışmada, farklı sertifika türleri (BREEAM, LEED, DGBN vb.) arasında sertifika almış yeşil kamu yapılarının kategorileri ve kriterleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır (2019). Diğer bir çalışmada ABD ve Çin’de LEED-NC sertifikasının kategorilerinin ve kriterlerinin uygulanma oranları üzerinde karşılaştırma yapılmıştır (Chi vd., 2020). Bir diğer çalışmada ise Çin’de bulunan 4’ü kamu, 6’sı konut yapısı olmak üzere seçili 10 yeşil bina arasında karşılaştırmalar yaparak kriterlerin gerçekleştirilme performansları üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır (Su vd. 2021).

Çalışmada İstanbul, Bursa, İzmir illerinde bulunan 5 ofis binası üzerinde inceleme yapılmıştır. Seçilen ofis yapıları LEED sertifikası almış yapılardır. Sertifikanın genel amacı sürdürülebilir tasarım ilkeleri ve günümüzdeki inşaat pratiklerini göz önüne alınarak kaynak kullanımı ve enerji kullanımını kontrol altına almaktır. Sertifika içinde kategorilere bakılacak olursa ilk sürümler incelendiğinde sürdürülebilir arazi, su verimliliği, malzeme ve kaynak, enerji ve atmosfer ve iç mekân hava kalitesi gibi kategoriler bulunurken sonraki sürümlerde yenilikçilik, ulaşım ve konum ve bölgesel öncelik gibi kategoriler eklenerek sertifika sürümleri geliştirilmeye devam etmektedir.

İncelenen ofis yapılarında seçilen 5 kategori (sürdürülebilir arazi, su verimliliği, malzeme ve kaynak, enerji ve atmosfer ve iç mekân hava kalitesi) üzerinde incelemeler yapılmıştır. Yapılan incelemeler sistematik olarak 4 aşama halinde yapılmıştır. İlk etapta verilen kategorinin genel amaçlarından bahsedilmiştir. İkinci olarak seçilen kategorinin alt kriterleri ve seçilen ofis yapılarının bu alt kriterlerden kaç puan aldıklarına dair bilgiler tablo şeklinde verilmiştir. Sonrasında seçilen ofis yapılarının alt kriterlerden puan alabilmek için yaptıkları çalışmalara dair bilgiler verilmiştir. Son olarak tüm ofis yapıları genelinde alt kriterlerin ne kadar sağlandığı yüzdesel olarak hesaplanıp, şekilsel grafikler ile sunulmuştur. Seçilen ofisler arasında aşamalar halinde karşılaştırmalı veri analizi yapılmıştır. Bunun neticesinde ülkemizdeki yeşil ofis üretiminin durumu üzerinde saptamalar yapılmıştır. Bu saptamalar veriler ile desteklenmeye çalışılmış dünya genelinde yapılan diğer çalışmalardan örnekler verilerek gelecekte akademik anlamda katkı sağlayabilecek potansiyele sahip konular tespit edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 1. Yapılar hakkında genel bilgiler (General information about structures) (USGBC, 2014; USGBC, 2016; USGBC, 2017; USGBC, 2018a; USGBC, 2018b)

Proje	Yapım Yılı	İl	LEED Versiyonu	Puan	Sertifika Türü
Ofis 1	2016	İstanbul	New Construction	61	Gold
Ofis 2	2018	İstanbul	New Construction	80	Platinum
Ofis 3	2017	Bursa	New Construction	83	Platinum
Ofis 4	2018	İzmir	New Construction	70	Gold
Ofis 5	2014	İstanbul	Core and Shell	65	Gold

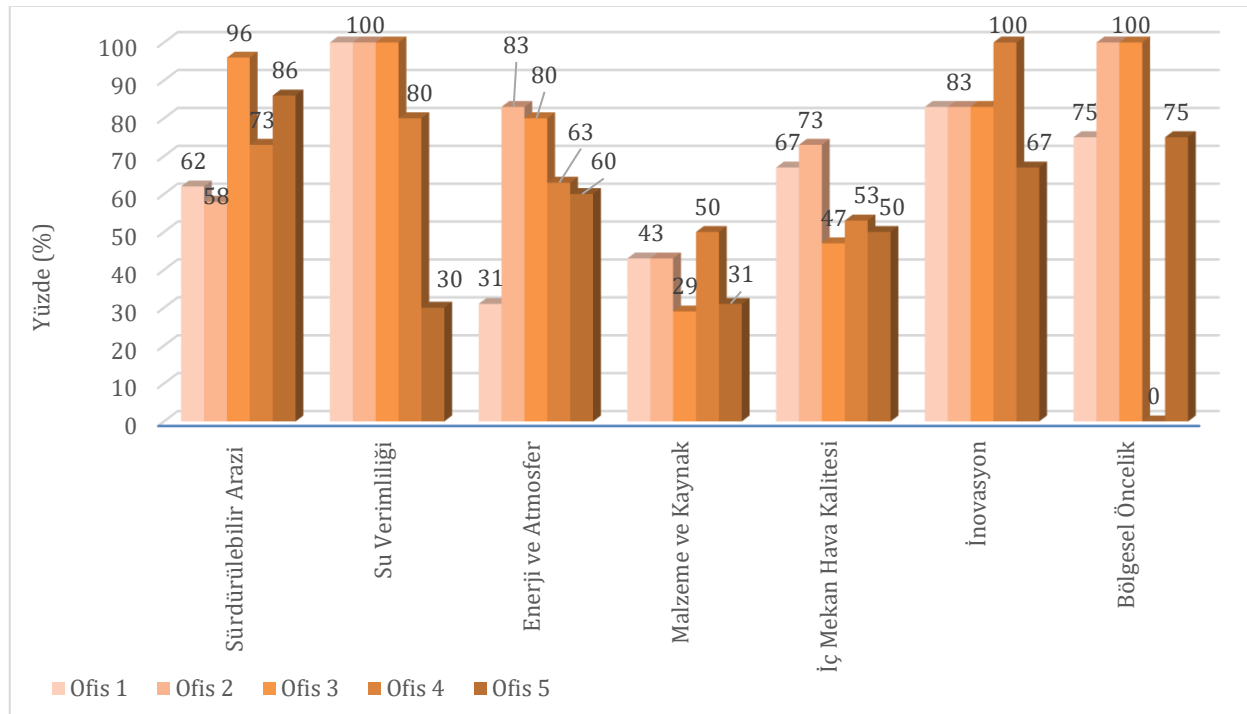
4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Seçilen yapılar için ilk olarak kategoriler genelinde bir değerlendirme yapılarak puanlar tablo haline getirilmiştir. Yapılan bu tablo üzerinde puanların yüzde (%) hesaplamaları yapılarak yüzdesel başarı grafiği oluşturulmuştur. **Tablo 2’**de görüldüğü gibi puan ağırlıkları farklılık göstermektedir. Tabloda verilen kategorilere göre en fazla puan ağırlığına sahip olana kategorinin “Enerji ve Atmosfer” kategorisi, en az puan ağırlığına sahip olan kategori ise “Bölgesel Öncelik” kategorisidir.

Tablo 2. Sertifika kategorileri, puanlamalar, genel puan yüzdesel dağılımları (Certificate categories, scores, overall score percentage distributions) (USGBC, 2014; USGBC, 2016; USGBC, 2017; USGBC, 2018a; USGBC, 2018b)

Kategoriler	Ofis 1	Ofis 2	Ofis 3	Ofis 4	Ofis 5	Genel Yüzde (NC/CS)
Sürdürülebilir Arazi	16/26	15/26	25/26	19/26	24/28	% 24/25
Su Verimliliği	10/10	10/10	10/10	8/10	3/10	%9
Enerji ve Atmosfer	11/35	29/35	28/35	22/35	21/37	% 32/34
Malzeme ve Kaynak	6/14	6/14	4/14	7/14	4/13	% 12/11
İç Mekân Hava Kalitesi	10/15	11/15	7/15	8/15	6/12	% 14/11

- Yapıların başarılı olduğu kategorilerin yüzde dağılımlarının verildiği Şekil 1’e baktığımızda “Su Verimliliği” en çok başarılı kategoriler arasında gelmektedir. En az başarılı kategori ise “Malzeme ve Kaynak” kategorisidir.



Şekil 1. Sertifika kategorilerine yapıların aldıkları puanların yüzdesel dağılımları (Percentage distribution of points acquired by structures in certificate categories) (**Tablo 2** referans alınarak oluşturulmuştur.)

4.1. Sürdürülebilir Arazi (Sustainable Site)

Temel olarak inşaat sahasında, inşaat aktivitelerine bağlı kirliliği önleme ve yapı çevre ilişkisi üzerine oluşturulan kategoridir.

- İnşaat sonrasında oluşan kirliliğin planlanan yerlere konulan geri dönüşüm kutularıyla toparlanarak geri dönüşüm merkezlerine götürülmesi.
- Yapının bulunduğu araziye olan ulaşım imkânlarının artırılarak CO₂ salınımını azaltmak.
- Arazi içinde yağmur suyunu sulama amaçlı kullanarak şebekeye verilen atık suyun azaltılması.
- Sert yüzeyleri azaltarak ısı adası oluşumunun önüne geçilmesi.
- Yapı özelliklerine uygun armatürler seçerek ışık kirliliğinin önlenmesi.

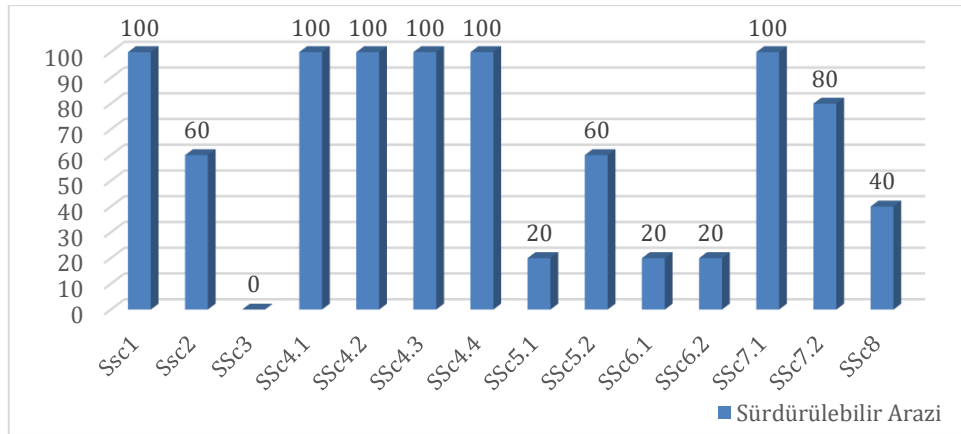
Tablo 3. Yapıların sürdürülebilir arazi kategorisinden aldıkları puanlar (Points of buildings in the sustainable site category) (USGBC, 2014; USGBC, 2016; USGBC, 2017; USGBC, 2018a; USGBC, 2018b)

SERTİFİKA KRİTERLERİ	Ofis 1	Ofis 2	Ofis 3	Ofis 4	Ofis 5
SÜRDÜRÜLEBİLİR ARAZİ	16/26	15/26	25/26	19/26	24/28
SSp1- İnşaat Faaliyetleri Kirliliğinin Engellenmesi	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli
SSc1- Saha Seçimi	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
SSc2- Gelişme Yoğunluğu ve Toplum Bağlayıcılığı	0/5	0/5	5/5	5/5	5/5
SSc3- Terk Edilmiş Sahaların Yeniden Geliştirilmesi	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
SSc4.1- Alternatif Ulaşım: Toplu Taşıma Erişimi	6/6	6/6	6/6	6/6	6/6
SSc4.2- Alternatif Ulaşım: Bisiklet İmkânı ve Giyinme Odaları	1/1	1/1	1/1	1/1	2/2
SSc4.3- Alternatif Ulaşım: Düşük Emisyonlu ve Yakıt Tasarruflu Araçlar	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3
SSc4.4- Alternatif Ulaşım: Otopark Kapasitesi	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2
SSc5.1- Saha Gelişimi: Doğal Ortam Korunması veya Restore Edilmesi	0/1	0/1	1/1	0/1	0/1
SSc5.2- Saha Gelişimi: Azami Düzeyde Açık Alan	1/1	0/1	1/1	0/1	1/1
SSc6.1- Yağmur Suyu Tasarımı: Miktar Kontrolü	0/1	0/1	1/1	0/1	0/1
SSc6.2- Yağmur Suyu Tasarımı: Kalite Kontrolü	0/1	0/1	1/1	0/1	0/1
SSc7.1- Isı Ada Etkisi: Çatı Harici	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
SSc7.2- Isı Ada Etkisi: Çatı	1/1	1/1	1/1	0/1	1/1
SSc8- Işık Kirliliği Azaltılması	0/1	0/1	1/1	0/1	1/1
SSc9- Kullanıcı Tasarım ve İnşaat Yönergeleri	-	-	-	-	1/1

- SSc4.1 kriterini sağlamak için inşaatın bulunduğu arazisinin mevcut veya yapılması planlanan raylı sistem istasyonuna yarım mil (yaklaşık 805 metre) ve yahut en az 2 otobüs hattının güzergâhında ve en az 1

durağa yarım mil (yaklaşık 805 metre) yürüme mesafesinde olması gerekmektedir. “Ofis 2” yapısı, bu şartı sağlamak için kullanıcılara servis imkânı sağlamıştır (Erke, 2018).

- SSc4.4 kriterinde ise tüm yapılar bulunduğu bölgedeki belediyelerin yönetmeliklerde koydukları sınırlar çerçevesinde otopark sayılarını belirleyerek puan kazanmışlardır.
- SSc7.1, SSc7.2 kriterlerinde, “Ofis 1” yapısı hariç, tüm yapılarda sert zeminlerde ve çatılarda açık renkli yapı malzemeleri seçerek, ısı adası etkisi azaltmayı hedeflemişlerdir. “Ofis 1” yapısında ise bu etkiyi azaltmak için SRI özelliği yüksek olan yapı malzemeleri tercih edilmiştir (Erke, 2016).
- SSc6.1 kriterinden tam puan alan “Ofis 3” yapısı, çatı ve sert zeminlerde biriken yağmur sularının yönlendirerek yeşil alanlar için sulama sistemi oluşturmuş ve altyapıya giden su miktarını azaltmıştır (Bursagaz, 2017).
- Yine SSc6.2, kriterinde tam puana alan “Ofis 3” yapısı doğal filtreleme yaparak su kirliliğinin önüne geçmiştir (Bursagaz, 2017).
- SSc8 kriterinden tam puan alan “Ofis 3” yapısı, aydınlatma zonlarına göre LZ4-Yüksek olarak tanımlanan zonun şartları dikkate alarak fotometrik planlama oluşturulmuştur. Bu planlamaya uygun olarak minimum düzeyde ışık kirliliği oluşturan aydınlatma tasarımı yapılmıştır (Bursagaz, 2017).



Şekil 2. Sürdürülebilir arazi kategorisinin kriterlerinin başarı yüzdesi ortalamaları (Average of success percentage of criteria for sustainable site category) (Tablo 3 referans alınarak oluşturulmuştur.)

- **Şekil 2'** ye işlenen verilere bakılarak, SSc1, SSc4.1, SSc4.2, SSc4.3, SSc4.4, SSc7.1, kriterleri üzerine yapılar genelinde, %100 oranında başarı elde edildiği görülmektedir.
- SSc2, SSc5.2, SSc7.2 kriterleri ise %50 oranında başarı elde edilerek üzerinde çalışmalar yürütülen kriterlerdendir.
- En az puan alınan kriterler ise (%50 altı) SSc3, SSc5.1, SSc6.1, SSc6.2, SSc8 kriterleridir.

4.2. Su Verimliliği (Water Efficiency)

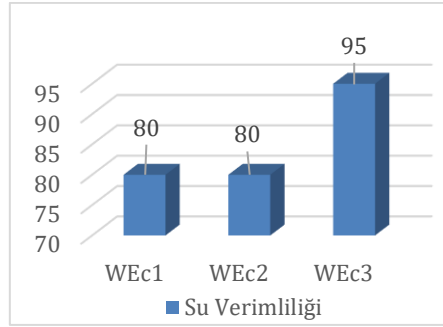
Temel olarak kaynak kullanımı ve kirliliği önleme fikri ile oluşturulan kategorinin su kullanımı azaltma, yağmur suyu kullanımını artırıp şebeke suyu kullanımını azaltmak, hedeflenmiştir.

Tablo 4. Yapıların su verimliliği kategorisinden aldıkları puanlar (Points of buildings in water efficiency category) (USGBC, 2014; USGBC, 2016; USGBC, 2017; USGBC, 2018a; USGBC, 2018b)

SERTİFİKA KRİTERLERİ	Ofis 1	Ofis 2	Ofis 3	Ofis 4	Ofis 5
SU VERİMLİLİĞİ	10/10	10/10	10/10	8/10	3/10
WEp1- Su Kullanımı Azaltılması	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli
WEc1- Su Verimli Peyzaj Düzenlemesi	4/4	4/4	4/4	2/4	0/4
WEc2- Yenilikçi Atık Su Teknolojileri	2/2	2/2	2/2	2/2	0/2
WEc3-Düşük Su Kullanımı	4/4	4/4	4/4	4/4	3/4

- “Ofis 2” yapısında iç mekânda, düşük tüketimli vitrifiye armatürler ve düşük hacimli rezervuarlar kullanarak yapı içinde % 53 oranında su tasarrufu sağlanmıştır (Erke, 2018).
- “Ofis 3” yapısında WEc3 kriterini sağlamak için yapıda kullanılacak lavabo bataryaları seçilirken düşük debili ve fotoselli olmasına dikkat edilmiştir. Böylece EPA standartlarına göre toplamda %35 oranında su verimliliği sağlanmıştır (Bursagaz, 2017).
- “Ofis 4” yapısında WEc3 kriterini sağlamak için 2.5/4 L hacimli gömme rezervuar ve düşük debili armatür seçimi ile yapı içinde %45 oranda su tasarrufu sağlanmıştır (Yeşil Bina Dergisi, 2018).
- “Ofis 5” yapısında WEc3 kriterini sağlamak için tasarruflu armatürler seçilerek, bina genelinde %42 su verimliliği sağlanmıştır (Erke, 2014).

- “Ofis 3” yapısında WEc1 kriterini sağlamak için peyzaj tasarımı, su tüketimini minimize etmek hedeflenerek en az sulama gerektirecek şekilde yapılmıştır (Damla sulama sistemi, az su isteyen bitki türleri, drenaj suyu kullanımı) (Bursagaz, 2017).



Şekil 3. Su verimliliği kategorisinin kriterlerinin başarı yüzdesi ortalamaları (Average of success percentage of criteria of water efficiency category) (**Tablo 4** referans alınarak oluşturulmuştur.)

- Su Verimliliği kategorisinin kriterlerine bakıldığında yapılar genelinde yüksek başarı gösterildiği görülmektedir (**Şekil 3**).

4.3. Enerji ve Atmosfer (Energy and Atmosphere)

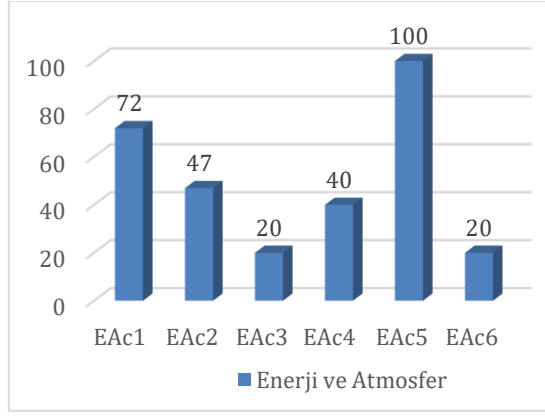
Temel olarak enerji verimliliği ve atmosfere salınan zararlı bileşenlerin azaltılmasını amaçlayan bu kriterin temel ilkeleri şu şekilde sıralanabilir;

- Düşük CO₂ salınımına teşvik etmek
- Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjiyi artırmak
- Verimli ev aletleri kullanımını hedefleyerek enerji tasarrufu sağlamak
- Bina içinde ısı, ışık ve görsel konfor koşullarının kontrolünü sağlamak
- Uçucu organik birleşiklerin (*Volatile organic compounds*-VOC) kullanımını azaltmak
- İç mekânda kullanılan malzemelerden kaynaklanan iç hava kalitesinin düşmesini engelleme.
- Gün ışığından yararlanarak aydınlanmayı üst düzeyde tutma.

Tablo 5. Yapıların enerji ve atmosfer kategorisinden aldıkları puanlar (Points of buildings in energy and atmosphere Category) (USGBC, 2014; USGBC, 2016; USGBC, 2017; USGBC, 2018a; USGBC, 2018b)

SERTİFİKA KRİTERLERİ	Ofis 1	Ofis 2	Ofis 3	Ofis 4	Ofis 5
ENERJİ ve ATMOSFER	11/35	29/35	28/35	22/35	21/37
EAp1- Bina Enerji Sistemlerini Devreye Alma	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli
EAp2- Düşük Enerji Performansı	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli
EAp3- Temel Soğutucu Yönetimi	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli
EAc1- Enerji Performansı Optimizasyonu	6/19	19/19	15/19	19/19	11/21
EAc2- Yerinde Yenilenebilir Enerji	0/7	7/7	4/7	0/7	4/7
EAc3- Gelişmiş İşletmeye Alma	0/2	0/2	2/2	0/2	0/2
EAc4- Gelişmiş Akışkan Yönetimi	2/2	0/2	2/2	0/2	0/2
EAc5.1- Ölçüm ve Doğrulama	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3
EAc5.2- Ölçüm ve Doğrulama- Kullanıcı Alt Ölçümü	-	-	-	-	3/3
EAc6- Yeşil Enerji	0/2	0/2	2/2	0/2	0/2

- EAc1 kriterini sağlayan “Ofis 2” yapısı, PV (PhotoVoltaic) panel kullanımı sayesinde yıllık enerji tüketiminin %25,3’ünü buradan sağlamaktadır (Erke, 2018).
- Aynı kriteri sağlamak için “Ofis 3” ve “Ofis 5” yapıları ise sırasıyla %3 (Bursagaz, 2017) ve %4 oranında PV panellerden yararlanmışlardır (Erke, 2014).
- EAc5.2 kriteri ise sadece LEED-CS sertifikası kriterleri arasında bulunmakta ve “Ofis 5” yapısı bu kriterde tam puan almıştır. Bu kriterden puan alabilmek için yapı içinde kullanıcılar için teker teker ölçüm yapılması ve kullanıcılara bu ölçümleri takip edebilme sağlanmıştır (Erke, 2014).
- “Ofis 5” yapısı, EAc1 kriterinde puan almak için enerji verimli malzemelerin kullanıldığı bir tasarım yapılarak, %28 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır (Yeşil Bina Dergisi, 2018).
- “Ofis 4” yapısı, EAc5 kriterinde puan almak için temel test ve devreye alma-doğrulama, minimum enerji performansı, bina enerji ölçümü ile karbon salınımını azaltmak hedeflenmiştir (Erke, 2014).



Şekil 4. Enerji ve atmosfer kategorisinin kriterlerinin başarı yüzdesi ortalamaları (Average of success percentage of criteria of energy and atmosphere category) (**Tablo 5** referans alınarak oluşturulmuştur.)

- **Şekil 4**'te işlenen verilere bakılarak, EAc1, EAc5 kriterlerinde tüm yapılar genelinde çalışmalar (%50 üstü) yapıldığı görülmektedir.
- En az çalışma yapılan kriterler ise (%50 altı) EAc2, EAc3, EAc6 kriterleri olduğu görülmektedir.

4.4. Malzeme ve Kaynak (Materials and Resources)

Temel olarak kaynakların kontrollü kullanımı ve çevreye etkiyi minimuma indirmeyi hedefleyen bu kriterin temel ilkeleri şu şekilde sıralanabilir;

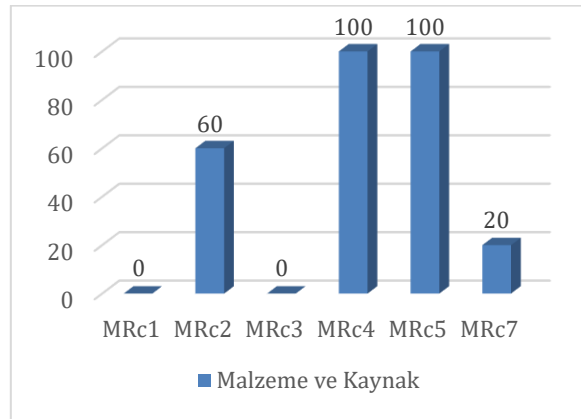
- YDD (Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi) ile üretilen malzemeleri kullanılması.
- Yapı elemanlarının yeniden kullanımı (duvar, çatı, pencere, kapı vb.)
- Şantiye sırasında ve sonrasında atıkların toplanması ve taşınması.
- Yapı inşaatında geri kazanılmış içerikli malzemelerin kullanılması.
- Yerel malzemelerin kullanımı ile taşıma ile yayılan karbonun azaltılması.

Tablo 6. Yapıların malzeme ve kaynaklar kategorisinden aldıkları puanlar (Points of buildings in materials and resources category) (USGBC, 2014; USGBC, 2016; USGBC, 2017; USGBC, 2018a; USGBC, 2018b)

SERTİFİKA KRİTERLERİ	Ofis 1	Ofis 2	Ofis 3	Ofis 4	Ofis 5
MALZEME ve KAYNAKLAR	6/14	6 / 14	4/14	7/14	4/13
MRp1- Geri Kazanılmış Mal. Toplanması ve Depolanması	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli
MRc1.1- Yapı Yeniden Kullanımı Mevcut Duvar, Kat ve Çatıların Muhafaza Edilmesi	0/3	0/3	0/3	0/3	0/5
MRc1.2- Yapı Yeniden Kullanımı Taşıyıcı Olmayan İç Elemanların Muhafaza Edilmesi	0/1	0/1	0/1	0/1	-
MRc2- İnşaat Atık İdaresi	2/2	2/2	0/2	2/2	0/2
MRc3- Malzeme Yeniden Kullanımı	0/2	0/2	0/2	0/2	0/1
MRc4- Geri Dönüştürülmüş İçerik	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2
MRc5- Yerel Malzemeler	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2
MRc6- Hızlıca Yenilenebilir Malzemeler	0/1	0/1	0/1	0/1	-
MRc7- Sertifikalı Ahşap	0/1	0/1	0/1	1/1	0/1

- Yaygın olarak çalışmada sağlanan kriterlere bakıldığında, yeşil ofislerin genelinde yerel malzeme seçimi ve geri dönüştürülmüş içerikteki malzemelerin kullanıldığı görülmektedir. MRc4 kriterinin genel şartı "Proje kapsamında kullanılan geri dönüştürülmüş içeriğe sahip malzemeler, toplam malzeme harcamalarının % 10-20'sini oluşturmalı" şeklindedir.
- "Ofis 1" yapısının kullanılan yapı malzemelerinin maliyet olarak %31'i geri dönüştürülmüş içeriğe sahip malzemelerden oluşmuştur (Erke, 2016).
- "Ofis 2" yapısında yapı malzemesi maliyetlerinin %20'si kadar geri dönüştürülmüş içeriğe sahip malzeme kullanmıştır.
- "Ofis 5" yapısının yapı malzemesi maliyetinin en az %20'sini geri dönüştürülmüş içeriğe sahip malzemeler oluşturmaktadır.
- MRc5 kriterinin genel şartı ise "Proje kapsamında kullanılan tüm malzemelerin ve bunları oluşturan hammaddelerin % 10-20'si, proje arazisinden en fazla 500 mil (800 km) uzaklıkta çıkartılmış, toplanmış ve imal edilmiş olmalı." şeklindedir (Bursagaz, 2017).
- "Ofis 1" yapısı projede %53 oranında yerel malzeme kullanmıştır (Erke, 2016).
- "Ofis 2" yapısının kullanılan malzeme maliyetinin %41 'ini yerel malzemeler oluşturmaktadır.
- "Ofis 5" yapısının kullanılan malzeme maliyetinin en az %20'sini yerel malzemelerden oluşturmaktadır.

- Bu kriterlerde MRc7 kriterinden puan alabilen tek yapı olan “Ofis 4” yapısı, FSC (Forest Stewardship Council- Orman Yönetim Konseyi) sertifikalı ahşap kullanarak bu kriterden puan almıştır.



Şekil 5. Malzeme ve kaynak kategorisinin kriterlerinin başarı yüzdesi ortalamaları (Average of success percentage of the criteria of material and resource category) (Tablo 6 referans alınarak oluşturulmuştur.)

- Şekil 5’te işlenen verilere bakıldığında, MRc4 ve MRc5 kriterlerinde tüm yapılar genelinde çalışmalar yapıldığı görülmektedir.
- En az puan alınan kategoriler ise MRc1, MRc3 ve MRc7 kriterleri olduğu görülmektedir.

4.5. İç Mekân Hava Kalitesi (Indoor Environment Quality)

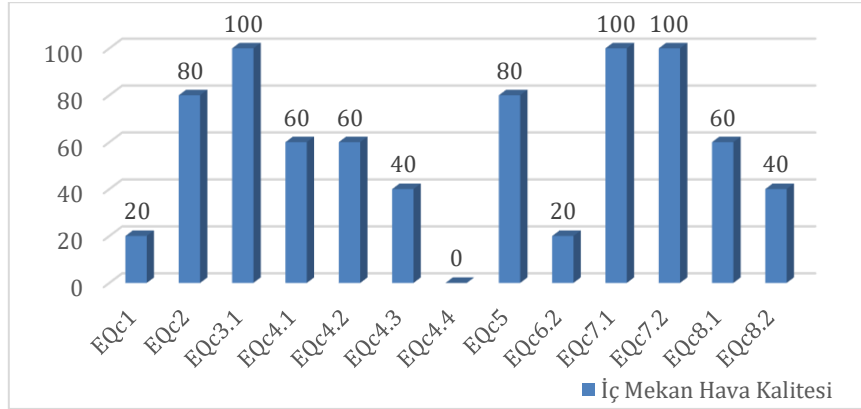
Temel olarak iç mekanda kirletici zararlı gazların salınımını önlemeyi hedefleyen bu kriterin temel ilkeleri şu şekilde sıralanabilir;

- Düşeme kaplamaları, boya, sıva, dolgu ve yapıştırıcılardan kaynaklanan uçucu organik birleşiklerin (VOC) salınımını azaltmak,
- Malzemelerden kaynaklı olarak oluşan iç hava kirlenmesinin önlenmesi,
- Tasarımda termal kontrol koşulları göz önüne alınması ve yapılan tasarımda güneşten maksimum verim alınması,
- İnşaat sırasında yapı malzemelerin uçucu gazlardan korunması,
- Oturum öncesi ve oturum sonrası olmak üzere ayrı ayrı ölçümler yaparak iç hava kalitesini kontrol altına alınmasının hedeflenmesi.

Tablo 7. Yapıların iç mekân hava kalitesi kategorisinden aldıkları puanlar (Points of buildings in indoor environment quality category) (USGBC, 2014; USGBC, 2016; USGBC, 2017; USGBC, 2018a; USGBC, 2018b)

SERTİFİKA KRİTERLERİ	Ofis 1	Ofis 2	Ofis 3	Ofis 4	Ofis 5
İÇ MEKÂN HAVA KALİTESİ	10/15	11/15	7/15	8/15	6/12
EQp1- Belli Düzeyde İç Mekân Hava Kalitesi Performansı	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli
EQp2- Çevresel Sigara Dumanı Kontrolü	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli
EQc1- Dış Hava Dağıtım İzleme	0/1	1/1	0/1	0/1	0/1
EQc2- Arttırılmış Havalandırma	1/1	1/1	1/1	0/1	1/1
EQc3.1- İnşaat Sırasında İç Mekan Hava Kalitesi Yönetim Planı	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
EQc3.2- Oturum Ön. İç Mekan Hava Kalitesi Yönetim Planı	1/1	1/1	1/1	1/1	-
EQc4.1- Düşük Emisyonlu Malzemeler- Yapıştırıcılar ve Dolgu Malzemeleri	1/1	1/1	0/1	1/1	0/1
EQc4.2- Düşük Emisyonlu Malzemeler-Sıva ve Boya	1/1	1/1	0/1	1/1	0/1
EQc4.3- Düşük Emisyonlu Malzeme- Döşeme Kaplaması	1/1	0/1	0/1	1/1	0/1
EQc4.4- Düşük Emisyonlu Malzeme- Karma Ahşap ve Agrifiber Ürünler	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
EQc5- İç Mekan Kimyasal ve Kirlitici Madde Kontrolü	1/1	1/1	1/1	0/1	1/1
EQc6.1- Sistemlerin Denetimi Işıklandırma	0/1	1/1	0/1	0/1	-
EQc6.2- Sistemlerin Denetimi Termal Konfor	0/1	0/1	0/1	0/1	1/1
EQc7.1-Termal Konfor Tasarımı	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
EQc7.2-Termal Konfor-Doğrulama	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
EQc8.1- Gün Işığı ve Manzara Gün Işığı	0/1	0/1	1/1	1/1	1/1
EQc8.2- Gün Işığı ve Manzara	1/1	1/1	0/1	0/1	0/1

- EQc3.1 kriterinin genel şartını sağlamak üzere tüm yapılarda “İnşaat sırasında SMACNA IAQ Guidelines’a uygun bir şekilde imalat yapılmış, inşaat sahasında bulunan yapı malzemeleri toz ve nemden korunmuştur. Bunun yanında inşaat esnasında kullanılan hava kanallarına MERV8 (G4) sınıfında hava filtresi takılmış ve bina işleme açılmadan değiştirilmiştir (Bursagaz, 2017).
- “Ofis 3” yapısında EQc5 kriterinden puan almak için havalandırma sistemlerinde F7 seviyesinde filtreler kullanılmıştır (Bursagaz, 2017).
- “Ofis 5” yapısında EQc5 kriterinden puan almak için, iç mekan hava kalitesini artırmak adına ilgili standartlarda önerilen değerden %80 daha fazla taze hava sağlanmıştır (Erke, 2014).

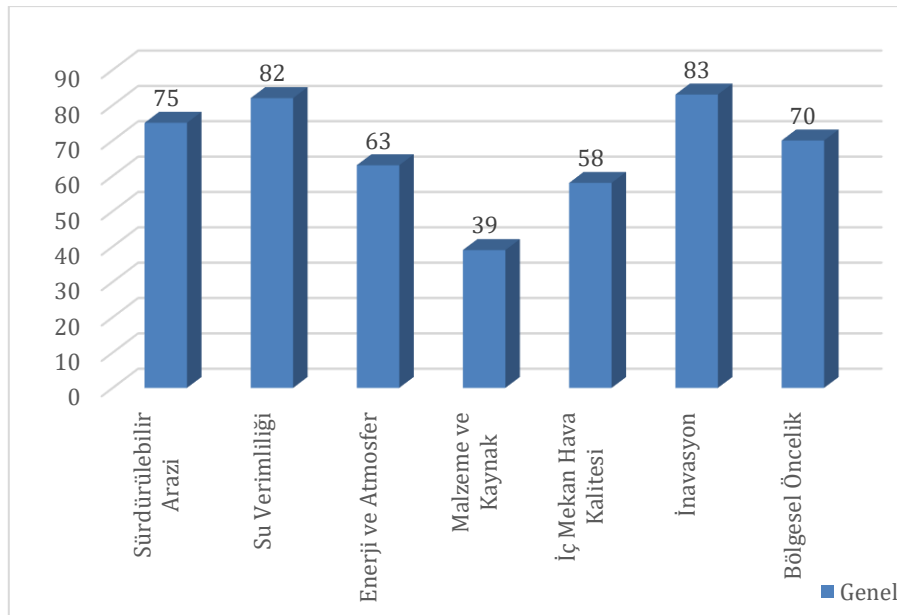


Şekil 6. İç mekan hava kalitesi kategorisinin kriterlerinin başarı yüzdesi ortalamaları (Average of success percentage of the criteria of indoor environment quality category) (Tablo 7 referans alınarak oluşturulmuştur.)

- **Şekil 6**'da işlenen verilere bakıldığında, EQc3.1, EQc7.1 ve EQc7.2 kriterlerinde tüm yapılar genelinde çalışmalar yapıldığı görülmektedir.
- **Şekil 6**'da en az başarı oranını (%50 altı) alınan kriterler ise EQc1, EQc4.4 ve EQc6.2, EQc8.2 kriterleridir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Küresel anlamda zararlı gaz salınımı, kaynakların ve enerjinin kullanımı, çevre ve insan sağlığı açısından bakıldığında bu sertifikalar büyük önem arz etmektedir. Sertifika kategorilerinin alt kriterlerine bakıldığında su verimliliği, enerji korunumu, toprak ve hava kirliliğini önleme, kaynak kullanımını azaltma gibi birçok çevresel sorunun önüne geçmek amaçlanmıştır. Yapılan yapı incelemelerinde amaç, seçilen 5 ofis yapısında daha çok hangi kategorilerden ne oranda başarı sağlandığını saptamak ve bu başarılar için yapılan eylemleri analiz etmektir.



Şekil 7. Kategorilerin başarı yüzdesi ortalamaları (Average success percentage of categories)(Şekil 1 referans alınarak oluşturulmuştur.)

Yapılan tablolar ve şekillerde sunulan grafikler sonucunda alınan yüzdesel verilere bakıldığında, projelerde “Malzeme ve Kaynak” kategorisinde bulunan kriterler içinde yapılan çalışmaların eksik olduğu saptandı. Kriterler incelendiğinde bunun kaynağının yapı bileşenlerinin yapılarda tekrar kullanılmaması ile alakalı olduğu anlaşıldı. Ülkemizde bunun nedeni yıkım kararı verilen inşaatlarda yıkım sırasında yapı malzemelerinin muhafaza edilmeden, yıkımların plansız bir şekilde gerçekleştirilmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Burada ülkemize yabancı bir konu olan yıkım mühendisliği konusunun geliştirilmesi önem arz etmektedir. Elde edilen yapı malzemelerinin yapılarda tekrar kullanılmasının yanı sıra geri dönüşümünün sağlanması da atık yönetimi gibi birçok konuda yararlı olacaktır. Geri dönüştürülme uygulamasında, kullanım dışı kalan atıl durumdaki malzeme, üretilen başka bir malzemenin girdisi veya girdilerinden biri olarak kullanılabilir. Yapılan bir araştırma, prefabrik üretim ile elde edilen beton blokların geri dönüştürülerek, yol yapımı için kullanılan parke taşı üretimi yapılabileceği ortaya konulmuştur (Memişoğulları, 2019). Bir diğer çalışmada ise demir-çelik endüstrisinde atık olarak ortaya çıkan baca tozunu kullanarak, %50 baca tozu içeriğine sahip enjeksiyon ile şekillendirilmiş, iç mekanda ve dış mekanda kullanılabilen kompozit malzeme elde etmişlerdir (Kayılı vd., 2018).

Yapılan araştırmalarda dikkat edilmesi gereken bir diğer konu ise atık yönetimi. LEED sertifikası almış olan bu 5 yeşil ofiste, sertifikanın dikkate aldığı husus inşaat sırasında kullanılan malzemelerin oluşturduğu atıklardan ibarettir. Atık yönetimi planlanırken yeşil binaların üretimindeki temel bir unsur olan yapının yaşam döngüsü boyunca oluşturduğu tüm atıklar dikkate alınması gerekir. Yapılan araştırmalara göre ülkemizde sadece İstanbul’da 35-40 milyon m³ inşaat atığı doğada kirletici olarak bulunmaktadır (Buzkan ve Erman, 2020). Burada dikkat çeken nokta, yukarıda üzerinde durduğumuz yıkım kararlarıdır. Yapılan yapıların tasarım aşamasındayken, yapım, kullanım ve ömrünü bitirdikten sonra yıkımı esnasında ortaya çıkacak çevresel etkileri de hesaplamak gerekir. Bu konuda ülkemizde yıkım projelerinin ve yapı projelerinin birlikte düşünülüp yapının tüm ömrü boyunca oluşturacağı çevresel etkiler göz önüne alınmalı ve seçilen malzemeler buna göre yenilenebilir veya geri dönüşümü mümkün malzemelerden seçilmelidir. Oluşturulan sertifika sistemlerinde de bu konuda çalışmalar yapılması önem arz etmektedir.

İncelenen yeşil ofis yapılarında dikkat çeken bir diğer kriter ise yenilenebilir malzemelerin kullanılmaması olmuştur. Yenilenebilir malzemeler, doğada çözünebilir ve toprağı, havayı, suyu kirletmeyen malzemeler olarak tanımlanabilir. Burada malzeme sektöründe yenilikçi üretim fikrinin artması için çalışmalar yapılması gereklidir. Ticari amaçlı tek yönlü ilerleyen sektör anlayışının perspektifini geliştirmesi gereklidir. Yapılan bir çalışmada kahvenin dış kabuğunu kullanarak, sıkıştırma ve kalıplama ile kompozit malzeme elde edilmiştir. Bununla birlikte malzemenin akustik ve ısı performansının oldukça yüksek olduğu görülmüştür (İlangovan vd., 2021). Yenilikçi çevresel ve işlevsel anlamda yüksek performanslı malzemelerden olan aerogeller ve vakumlu yalıtım panelleri üzerine yapılan çalışmalar umut vadetmektedir. Fakat bu malzemelerin üretim maliyetlerinin yüksek olması arz edilmesinin önünde büyük bir engel oluşturmaktadır (Abu-Jdayil vd., 2019). Malzeme sektöründe parasal kaygılardan dolayı yenilikçi üretime önyargılı bir bakış söz konusudur. Oluşturulacak bu anlayış tedarikçilere yeni bir kimlik kazandırarak, rekabet ortamını artıracak ve böylece daha üretken bir sektör ortamı oluşacağı öngörülmektedir.

“İç Mekan Hava Kalitesi” ve “Enerji ve Atmosfer” kategorileri de üzerinde yoğunlaşılması gereken kategoriler arasında bulunmakta. “Enerji ve Atmosfer” kategorisi altında bulunan kriterlere bakıldığında eksikliğin sebebinin “Yeşil Güç” kriterinin sağlanmadığı ve “Gelişmiş Akışkan Yönetimi” yapılmamasından kaynaklandığı görülmektedir. “Yeşil Güç” kriterinde yapılarda gerekli şartların sağlanmamasının nedeninin puan alamayan yapılar genelinde incelendiğinde, gerekli enerjinin istenen yıllar içinde uygun miktarda sağlanmadığı görülmüştür. Bunun nedeni yapılarda genellikle çatı yüzeyinde bulunan PV panellerin bu şartları sağlamaları için yeterli olmadığı görülmektedir. Bu konuyla ilgili PV panel için peyzaj tasarımında yer belirlenebilir ve daha verimli paneller kullanarak daha fazla enerji kazanımı sağlanabilir. Bunun yanında bu kategori başlığı altında verilen LEED CS sertifika türünde bulunup, LEED NC sertifika türünde bulunmayan, Ölçüm ve Doğrulama- Kullanıcı Alt Ölçümü kriteri önemli bir husustur. Yapılarda konulan enerji hedeflerinin gerçekleştirilmesini izlemek için ölçüm ve doğrulama başlığı bulunmaktadır. Fakat yapılan bir araştırma kullanıcının bu ölçümlere dâhil olması ve bu konuda süreklilik sağlanması hedeflenen enerji hedefini gerçekleştirmek için önem arz ettiğini göstermektedir (Geng vd., 2020). Bu konuda kullanıcıların ölçümleri kendilerinin yapması enerji performansındaki açıkları tespit etmekte yararlı olacak ve yapılan ölçümler sonucu tasarrufa gidilmesi adına teşvik edici olacaktır. Akışkan yönetimi kriterinde, mekanik sistemlerde sıcak havayı emerek soğutma sağlayan akışkanların CFC (Clorofluorocarbon) içererek ozon tabakasına zarar verdiği görülmektedir. Bu konuda akışkan miktarının düzenli olarak ölçülmesi ve ölçüm sonucunda miktarının ayarlanması şartları gereklidir.

“İç Mekan Hava Kalitesi” kategorisi altında bulunan kriterlerde ise problemin VOC esaslı malzemelerin kullanımından yani dolaylı olarak yapı malzemesi sektörüyle alakalı olduğu görülmektedir. Günümüzde alçı sıva, XPS, boya, yapıştırıcılardan bulunan petrol esaslı malzemeler VOC salınımı yapmaktadır. Bunun yanında mobilya, parke ve seramik gibi malzemelerin yüzeylerine VOC salınımı yapan bazı maddeler uygulanmaktadır. Bu

maddelerin uygulanmaması halinde temizlik sırasında bu yüzeyler mekanik olarak yıpranıp bozulmaya uğramaktadır. Bu yıpranmayı azaltmak adına uygulanan VOC içerikli maddeler hava sıcaklığı arttıkça daha çok salınım yapmaktadır. Bunun sonucunda iyi bir şekilde havalanmayan, iç mekân hava kalitesi düşük olan yapılar, hasta bina sendromuna yakalanmış sayılır ve içinde bulunan insanların da doğrudan etkilenmesine neden olur (Ghaffarianhoseini vd., 2018). Fakat yıllardır yürütülmekte olan ve giderek gelişen fotokatalitik oksidasyon işlemi ile elde edilen TiO₂ bu konuda umut vadetmektedir. Yapılan araştırmalarda, TiO₂ filmlerinin, VOC salınımı ile ortaya çıkan kirleticileri parçalayarak zararsız hale getirdiği tespit edilmiştir (Shayegan vd., 2021). Mimari anlamda iç mekânlarda bulunan yüzeyler de kullanılması halinde VOC salınımı ile ortaya çıkan kirleticileri ortadan kaldırmak mümkün olmaktadır. Bunun yanında akıllı bir yapı malzemesi olarak üretilen fotokatalitik çimento ile yapılan yapılarda bu sorunun önüne büyük ölçüde geçilmektedir (Topal ve Arpacioğlu, 2020). Bu metod ile yapılan yapı malzemelerinin ve mobilyaların üretimi ve kullanımı yaygınlaşabilir. Ve bunun yanında mevcutta bu şekilde üretilmeyen yapılarda ise yapılan revizyonlar ve ölçümler ile iyileştirilmelere gidilebilir. Aynı zamanda ısıtma-soğutma sistemlerinde kullanılan filtreleme sistemleri de konu ile ilgili alına bilinecek önlemler arasındadır. Fakat burada da dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Yurt dışında yapılan bir akademik çalışmada, 2 farklı filtreleme sistemi ile ahşap esaslı yapı malzemelerin bulunduğu bir ortamda yapılan ölçümler sonucunda, bu iki sistemin farklı filtreleme davranışı gösterdiği ortaya çıkmıştır (Harb vd., 2018). Ülkemizde de bu konuda çalışmalar yapılarak maksimum verim elde edilen filtreleme sisteminin tespiti yapılabilir.

Yapılan araştırmalar dâhilinde akademik anlamda ülkemizde yeşil binalar üzerine yapılan birçok çalışma bulunduğu görülmektedir. Fakat bu çalışmaların yanında dikkat edilmesi gereken arz-talep ilişkisidir. En nihayetinde yapılan yapılar kullanıcıların tercih etmesi halinde yaygınlaşacaktır. Yapılan bir akademik çalışmada yeşil binaların kira getirilerinin yüksek olmasından dolayı ev sahiplerinin yeşil bina sertifikası almaya sıcak baktığını fakat aynı kira bedellerinden ötürü kiralama oranlarının düşük olduğu görülmektedir (Wiley vd., 2010). Diğer çalışmada ise 2014'te yaşanan krizden sonra, Amerika'da yeşil ofislerin doluluk oranının, sertifikasız ofislere nazaran daha az olduğu saptanmış ve bunun sebebinin bu tarihten sonra kira bedellerinde yaşanan orantısız artış olduğu görülmüştür. Aynı çalışmada yeşil ofislerin tercih edilme sebeplerini etkileyen faktörler (iklim, enerji fiyatları vb.) üzerine veri analizi yapılmıştır (Holtermans ve Kok, 2019). Aynı şekilde ülkemizde de benzer çalışmalar yapılarak bu konuda saptamalar yapılabilir ve bunun sonucunda devlet destekli teşvikler ile yeşil binaların kullanımı yaygınlaştırılabilir. Yurt dışında yapılan araştırmalar yeşil binaların normal binalara göre yüksek performans gösterdikleri ortaya çıkmıştır (Zaid vd., 2017). Ülkemizde de yeşil bina kullanımına teşvik olarak, yeşil binaların performanslarını tespit edip uzun vadede sağlayacakları kazançlar üzerinde durulabilir. Bu şekilde kullanıcıların tercihleri yönlendirilebilir.

Yapılan saptamalar üzerine belirlenen konuların yapılardaki eksikliklerinin tespit edilmesi ve bu eksikliklerin giderilmesi çalışmanın temel amaçları arasındadır. Saptamalar daha çok yapım-yıkım yönetimi ve gelişmiş inşaat teknolojilerinde eksikliklerin olduğunu göstermektedir. Ve bunun yanında neredeyse eksik olan tüm kriterlerin temelde eksik olmalarının nedeni, ülkemizde bulunan malzeme ve inşaat sektörünün işleyişinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Bu konuda sürdürülebilir proje yönetimi aşamalarının uygulanması ve doğru ilerletilmesi büyük bir önem arz etmektedir. Yapılan analizlerin yeşil bina üretiminin gelişimine ve bununla birlikte sürdürülebilir bir çevre yaratmak için yararlı olması umulmuştur.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Abu-Jdayil, B., Mourad, A. H., Hittini, W., Hassan, M., Hameedi, S., 2019. Traditional, State-of-the-Art and Renewable Thermal Building Insulation Materials: an Overview. *Construction and Building Materials*, 214, 709-735.
- Awada, M., Gerber, B. B., Hoque, S., O'Neill, Z., Pedrielli, G., Wen, J., Wu, T., 2021. Ten Questions Concerning Occupant Health in Buildings During Normal Operations and Extreme Events Including the COVID-19 Pandemic. *Building and Environment*, 188-189.
- Bursagaz 2018. Bursagaz Genel Merkez Binası LEED Sertifikasyon Süreci. <https://www.bursagaz.com/CMSFiles/file/LEEDSertifika0711.pdf>. (Erişim Tarihi: 14.12.2021).
- Buzkan, C., Erman, O., 2020. Yapısal Atıkların Geri Dönüşüm Sorunu ve Türkiye'deki Durumun Mevzuat Bakımından Değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(1), 76-89.
- Çelebi, F., 2018. Uluslararası BREEAM ve LEED Değerlendirme Sertifikaları Yeşil Ofis Tasarımı Kriterleri ve Karşılaştırmaları. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Çelik, K., 2016. Leed Sertifika Sistemleri ve Türkiye'deki Uygulamalarının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.

- Chi, B., Lu, W., Ye, M., Bao, Z., Zhang, X., 2020. Construction Waste Minimization in Green Building: A Comparative Analysis of LEED-NC 2009 Certified Projects In the US, and China. *Journal of Cleaner Production*, 256.
- ÇŞB, 2020. Yerli Yeşil Sertifika Sistemi YES-TR ile "Yeşil Bina" Sayısı Artacak. <https://csb.gov.tr/yerli-yesil-sertifika-sistemi-yes-tr-ile-yesil-bina-sayisi-artacak-bakanlik-faaliyetleri-29700>, (Erişim Tarihi: 28.10.2022).
- Geng, Y., Lin, B., Zhu, Y., 2020. Comparative Study on Indoor Environmental Quality of Green Office Buildings with Different Levels of Energy Use Intensity. *Building and Environment*, 168.
- Güler, M., 2016. Sürdürülebilir Tasarım Ölçütleri Bağlamında Yeşil Ofis Binalarının Analiz ve Karşılaştırması. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi-Hacettepe Üniversitesi, Konya-Ankara.
- Ergün, T., Çobanoğlu, N., 2012. Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevre Etiği. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 97-123.
- Erke, 2014. Çebi Natura Green Office LEED Gold Sertifikasına Sahip Türkiye'deki İlk Home Office Projesi Oldu. <https://www.erketasarim.com/cebi-natura-green-office-leed-gold-sertifikasına-sahip-turkiyedeki-ilk-home-office-projesi-oldu/> (Erişim Tarihi: 14.12.2021).
- Erke, 2016. İcdaç Plaza LEED Gold Aldı. <https://www.erketasarim.com/icdas-plaza-leed-gold-aldi/>, (Erişim Tarihi: 12.12.2021).
- Erke, 2018. Tekstil Fabrikası Ofis Bölümü LEED Platinum Sertifikası Aldı. <https://www.erketasarim.com/tandem-tekstil-fabrikasi-ofis-bolumu-leed-platinum-sertifikasi-aldi/> (Erişim Tarihi: 15.12.2021).
- Ghaffarianhoseini, A., AlWaeer, H., Omrany, H., Ghaffarianhoseini, A., Alalouch, C., Croome, D. C., Tookey, J., 2018. Sick Building Syndrome: Are We Doing Enough?. *Architectural Science Review*, 61(3), 99-121.
- Harb, P., Locoge, N., Thevenet, F., 2018. Emissions and Treatment of VOCs Emitted from Wood-Based Construction Materials: Impact on Indoor Air Quality. *Chemical Engineering Journal*, 354.
- Heerwagen, J., 2000. Green Buildings, Organizational Success and Occupant Productivity. *Building Research & Information*, 28(5-6), 353-367.
- Holtermans, R., Kok, N., 2019. On the Value of Environmental Certification in the Commercial Real Estate Market. *Real Estate Econ*, 47, 685-722.
- İlangovan, M., Guna, V., Hu, C., Takemura, A., Leman, Z., Reddy, N., 2021. Dehulled Coffee Husk-Based Biocomposites for Green Building Materials. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 34(12), 1623-1638.
- IPCC, 2013. Climate Change The Physical Science Basis. IPCC WGI Fifth Assessment Report Final Draft, 11-12.
- IPCC, 2021. AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis. 80-82.
- Kayılı, M. T., Çelebi, G., Gültaş, A., 2018. Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Hedefiyle Demir Çelik ve Plastik Endüstrisi Atıklarının Geri Kazanımı. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), ss. 33-44.
- Kömürlü, R., 2018. Yeşil Bina Kavramı ve Proje Yönetimi. *Yapı Dergisi*, 438, 49.
- Memişoğulları, M., 2019. Prefabrik Beton Yapı Malzemelerinin Geri Dönüşüm Agregası Olarak Beton Parke Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Öztürk, A., 2015. Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerinin Analizi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Paulsen, J., 2001. Life Cycle Assessment for Building Products the Significance of the Usage Phase. Doktora Tezi. Kungliga Tekniska Högskolan Üniversitesi, Stockholm.
- Ramesh, T., Prakash, R., Shukla, K., K., 2010. Life Cycle Energy Analysis of Buildings: an Overview. *Energy Buildings*, 42(10), 1592-1600.
- Sev, A., Başarır, B., 2011. Geçmişten Geleceğe Enerji Etkin Yüksek Yapılar ve Uygulama Örnekleri. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- Shayegan, Z., Haghghat, F., Chang, S. L., 2021. Anatase/Brookite Biphase Surface Fluorinated Fe-TiO₂ Photocatalysts to Enhance Photocatalytic Removal of VOCs Under Visible and UV Light. *Journal of Cleaner Production*, 287.
- Su, Y., Wang, L., Feng, W., Zhou, N., Wang, L., 2021. Analysis of Green Building Performance in Cold Coastal Climates: An in-Depth Evaluation of Green Buildings in Dalian, China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 146.
- Sümer, E., 2013. Yeşil Bina Proje Yönetim Süreçleri ve Türkiye'de Leed ve Breeam Uygulamalarında Proje Yönetimi Süreçlerine İlişkin Örnek Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Taner, Z. T., 2020. Sürdürülebilir Kalkınma Bağlamında Yapım Yönetiminin Çukurova Bölgesi'nde İncelenmesi, *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, XLVIII (1), 196-219.
- Tsim, S., Su, S. Y., Yuen, B.Bh., Xie, M.L. 2019. Comparison of Building Environment Assessment Systems Across the Belt and Road Countries: How Do Green Buildings Contribute to Achieving Ecological Civilization and Sustainable Development Goals?. *Islam, M. (Edt.), Silk Road to Belt Road*, içinde (s. 235-258). Singapore: Springer.
- Topal, A. S., Arpacioğlu, Ü., 2020. Mimarlıkta Akıllı Malzeme. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi*, 5(2), 241-254.
- UNEP, 2021. Emissions Gap Report (Emisyon Açığı Raporu), 16-18.
- USGBC, 2014. Cebi Natura Score Card. <https://www.usgbc.org/projects/cebi-natura?view=scorecard>, (Erişim Tarihi: 10.10.2021).
- USGBC, 2016. Icdas Plaza Score Card. <https://www.usgbc.org/projects/icdas-plaza?view=scorecard>, (Erişim Tarihi: 15.10.2021).
- USGBC, 2017. Bursagaz Yeni Ofis Binası Score Card. <https://www.usgbc.org/projects/bursagaz-yeni-yonetim-binasi?view=scorecard>, (Erişim Tarihi: 13.10.2021).
- USGBC, 2018a. Tandem Tekstil Fabrikası Ofis Bölümü Score Card. <https://www.usgbc.org/projects/tandem-tekstil-fabrikasi-ofis-bolumu?view=scorecard>, (Erişim Tarihi: 12.10.2021).
- USGBC, 2018b. İzmir Chamber of Commerce Score Card. <https://www.usgbc.org/projects/izmir-chamber-commerce?view=scorecard> (Erişim Tarihi: 12.10.2021).
- Wiley, J., Benefield, J., Johnson, K., 2010. Green Design and the Market for Commercial Office Space. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 41(2), 228-43.
- Xue, F., Gou, Z., Lou, S. S. Y., 2016. Human Factors in Green Office Building Design: The Impact of Workplace Green Features on Health Perceptions in High-Rise High-Density Asian Cities. *Sustainability*, 8(11), 1095.

- Yeşil Bina Dergisi, 2018. Yüksek Performanslı Bir Yeşil Bina İzmir Ticaret Odası Yeni Hizmet Binası. https://www.yesilbinadergisi.com/yavin/825/yukse-performansli-bir-yesil-bina-izmir-ticaret-odasi-yeni-hizmet-binasi_24116.html#YbYLn71BxPY , (Erişim Tarihi: 14.12.2021).
- Zaid, M., Kiani, S., Rad, A., Zainon, N., 2017. Are Green Offices Better than Conventional? Measuring Operational Energy Consumption and Carbon İmpact of Green Office in Malaysia. *Facilities*, 35(11/12), 622-637.



İSTANBUL AVRUPA YAKASINDA MEYDANA GELEN SİSMİK OLAYLARIN KAYNAK TÜRLERİNİN BELİRLENMESİ

Evrım YAVUZ*

İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Dairesi Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Şube Müdürlüğü, Bakırköy, İstanbul

Anahtar Kelimeler

*Ayrımlaştırma Fonksiyonu,
Deprem,
İstanbul,
Patlatma,
Taş Ocakları.*

Öz

Nüfus, sanayi, yapılaşma ve turizm açısından ülkemizin en yoğun kenti olan İstanbul, tektonik olarak, güneyinde uzanan Ana Marmara Fayı'nın kontrolü altındadır. Endüstriyel hammadde ihtiyacı ise Avrupa Yakasındaki taş ocağı işletmeleri tarafından sağlanmaktadır. Dolayısıyla, bölgede hem doğal hem de yapay kaynaklı mikro-sismik aktivite gözlenmektedir. Olayların enerji içeriği, sismik istasyon sayısının/dağılımının yeterli olmaması ve dalga fazlarının doğru seçilememesi vb. nedenlerden dolayı da kaynak türleri tanımlanmasında hatalar gözükülebilmektedir. Daha güvenilir kaynak türü belirlenmesi ise ikincil analizler ile yapılmaktadır. Çalışmada, İstanbul Avrupa Yakası'nda 2007-2021 yılları arasında meydana gelen, büyüklüğü $M \leq 2.8$ olan 195 adet sismik olayın Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem ve Tsunami İzleme Merkezi (KRDAE-BDTİM) tarafından işletilen altı adet deprem istasyonunda kayıt edilen 270 adet dalga formu için kaynak türü belirleme analizleri yapılmıştır. Olayların kaynak türleri katalog bilgilerinden bağımsız şekilde, görsel olarak belirlenerek yola çıkmıştır. Düşey bileşen sismogramları kullanılarak, genlik oranı ve karmaşıklık yöntemleri uygulanmıştır. İstatistiksel sınıflandırma için Lineer ve Karesel Ayrımlaştırma Fonksiyonları kullanılarak, yöntem bazlı başarı oranları hesaplanmıştır. Sonuç olarak, 195 adet sismik olayın, 28 tanesinin deprem, 167 adetinin patlatma kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Daha güvenilir kaynak türü tanımlaması ile homojen kataloglar oluşturulmakta ve depremsellik, deprem tehlike analizleri gibi çalışmalarda araştırmacıların ikincil analizler ile zaman kaybı yaşamamasının önüne geçilebilmektedir.

IDENTIFICATION OF THE SOURCE TYPES OF THE SEISMIC EVENTS OCCURRED ON THE EUROPEAN SIDE OF ISTANBUL

Keywords

*Discriminant Function,
Earthquake,
Istanbul,
Blast,
Quarries.*

Abstract

Istanbul, the densest city of our country in terms of population, industry, construction, and tourism, is tectonically under the control of the Main Marmara Fault lying to the south. The need for industrial raw materials is provided by the quarry operations on the European side. Therefore, both natural and artificial micro-seismic activity is observed in the region. Errors may appear in the identification of source types due to the energy content, insufficient number/distribution of seismic stations, and inaccurate picking of wave phases etc. Secondary analyzes are needed to determine more reliable source types. In this study, source type determination analyzes were performed for 270 waveforms on 195 seismic events with a magnitude of $M \leq 2.8$ that occurred in the European Side of Istanbul between 2007 and 2021 were analyzed at six earthquake stations operated by Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Regional Earthquake and Tsunami Monitoring Center (KOERI-RETMC). The source types of the events were determined visually, independently of the catalog information. Amplitude ratio and complexity methods were applied by using vertical component seismograms. Method-based success rate was calculated by

* İlgili yazar / Corresponding author: evrim.yavuz@ibb.gov.tr, +90-212-455-3805

using Linear and Quadratic Discrimination Functions for statistical classification. As a result, for 195 seismic events, 28 earthquakes and 167 quarry blasts were determined. With a more reliable source type identification, homogeneous catalogs could be created and researchers could prevented time loss by performing secondary analysis in studies such as seismicity and earthquake hazard analysis.

Alıntı / Cite

Yavuz, E., (2023). İstanbul Avrupa Yakasında Meydana Gelen Sismik Olayların Kaynak Türlerinin Belirlenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 279-297.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Yavuz, 0000-0002-9175-8952

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	19.09.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	02.11.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	08.11.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

IDENTIFICATION OF THE SOURCE TYPES OF THE SEISMIC EVENTS OCCURRED ON THE EUROPEAN SIDE OF ISTANBUL

Evrinm YAVUZ[†]

Istanbul Metropolitan Municipality, Department of Earthquake Risk Management and Urban Improvement, Directorate of Earthquake and Soil Investigation, Bakirkoy, Istanbul

Highlights

- Obtaining reliable earthquake catalogs for small seismic events ($M \leq 2.8$)
- Performing amplitude ratio, complexity methods and Linear, Quadratic Discriminant Functions
- Focusing on artificial and natural seismic events

Graphical Abstract

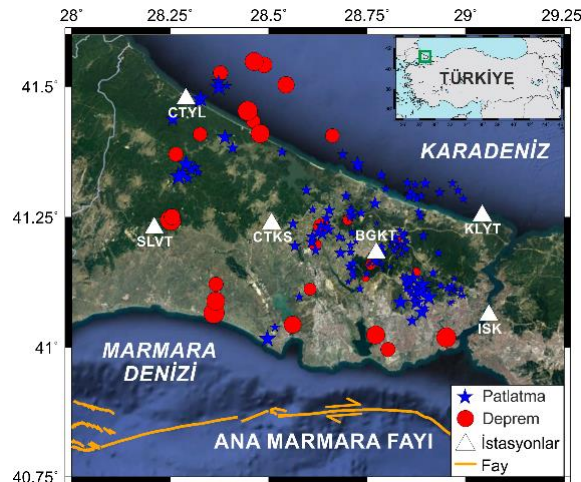


Figure. Kaynak türü dağılımı (Source type distribution)

Purpose and Scope

Refining the earthquake catalogs by reliably identifying the existing micro-seismic activity on the European Side of Istanbul.

Design/methodology/approach

In the study, more detailed source type identification analyzes were performed for 270 waveforms on 195 seismic events by using amplitude ratio, complexity methods and Linear, Quadratic Discriminant Functions.

Findings

Seismic-station-based discrimination functions and graphs were obtained. More reliable source type identification was performed for 195 seismic events.

[†] Corresponding author: evrim.yavuz@ibb.gov.tr, +90-212-455-3805

Practical implications

KOERI-RETMC needs to revise the earthquake catalogs reliably and should perform detailed analyzes to identify the source types of micro-seismic events.

Social implications

The settlement area of Istanbul is increasing day by day and accordingly, these areas are expanding towards the northern parts of the province. This study could contribute to both urban planning and environmental impact assessment in areas where quarries are common.

Originality

For six seismic stations operated by KOERI-RETMC, discrimination functions and graphs have been obtained to identify the source types for $M \leq 2.8$ seismic events on the European Side of Istanbul and its vicinity.

1. Giriş (Introduction)

Geçmişten günümüze birçok medeniyete ev sahipliği yapmış olan İstanbul, nüfus, sanayi, yapılaşma, alt ve üst yapı mimarisi vb. konularda ülkemizin en yoğun aktivasyonuna sahip olan kadim bir şehirdir. İki kıtaya ev sahipliği yapan bu şehir, son yıllarda havalimanı inşaatı, otoyol yapımları, yüksek katlı binaların sayısının artması ve genişleyen yapılaşmanın oldukça fazla olmasından dolayı da mega şehir olarak lanse edilmektedir. Ayrıca gece/gündüz ayırt etmeksizin hem mevcut yaşantısından hem de yerli ve yabancı turistik ziyaretlerden dolayı da kozmopolit unvanına sahiptir.

Kentin yersel hareketinin kontrolü, hemen güneyindeki Marmara Denizi içerisinde uzanan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun kuzey kolu olan ve Ana Marmara Fayı olarak adlandırılan tektonik elemandan kaynaklıdır. 24 mm/yıl olan sağ yanal hareketinden dolayı büyük depremler üretebilen, Anadolu ve Avrasya Levhaları arasında transform bir fay olan ve basamaklı yapısından kaynaklı ikincil kırıklara sahip olan, deniz içerisinde derin havzaları barındıran bir tektonik yapıdadır (Barka, 1992; McClusky vd., 2003; Şengör vd., 2005; Reilinger vd., 2006). Bu tektonik karmaşada, sadece büyük depremler değil yerel anlamda da mikro sismik aktivite de sürekli olarak kayıtlara geçmektedir. Aynı zamanda yine küçük magnitüdlere sahip taş ocağı patlatmaları da sürekli olarak, özellikle Avrupa Yakasında Arnavutköy, Çatalca ve Eyüpsultan ilçelerinde işletilen taş ocağı işletmeleri tarafından kaya ortamlarda sert malzemeyi ayırt etmek amacıyla dinamit, ANFO, vb. patlayıcı veya yanıcı madde kullanılarak yapılmaktadır. Sadece taş ocaklarında değil, metro kazılarında, havalimanı inşaatlarında, otoyol yapımlarında ve üst yapılaşmalarda sağlam malzemenin ayıklanması amacıyla kontrollü dinamik patlatmalarına başvurulmaktadır. Böylece küçük magnitüdü doğal veya yapay sarsıntılar sismoloji merkezlerinde detaylı analizlere tabi tutulmadan hatalı kaynak türü ile kataloglanabilmektedir. Maalesef, katalog taramasına başvuru alan sismoloji çalışmalarında doğru katalog ile yola çıkmak için, araştırmacıların ikincil bir çalışma yapması gerekmektedir. Doğal ve yapay sarsıntuları birbirinden ayırabilmek için literatürde birçok farklı yöntem kullanılmakta olup özellikle genlik oranı ve karmaşıklık yöntemlerinden elde edilen ayırma fonksiyonları ile hızlı, kolay, pratik ve yüksek başarı oranına sahip şekilde kaynak türü tanımlaması yapılabilmektedir (Wüster, 1993; Gitterman ve Shapira, 1993; Horasan vd., 2009; Yavuz vd., 2019a).

Kazakistan'da sismik olayların kaynak türlerini belirlemek amacıyla zaman-frekans ortamı çalışmaları yapılmıştır (Hedlin vd., 1989). Hedlin vd. (1990)'da ise koda dalgası azalımı ile doğal ve yapay sarsıntılar ayırma çalışmaları yapılmıştır. Ardından Su vd. (1991)'de ise yine koda dalgaları ve güç spektrumları kullanılarak taş ocağı/maden patlatmaları depremlerden ayırt edilmeye çalışılmıştır. Genlik oran yöntemi ise ilk olarak kimyasal patlatma ile doğal kaynaklı olayları birbirinden ayırt edebilmek amacıyla Wüster (1993) tarafından kullanılmıştır. Gitterman ve Shapira (1993) ise karmaşıklık ve spektral analiz yöntemleri kullanılarak su altında meydana gelen patlatma kayıtlarını ayırt etmişlerdir. Beck ve Wallace (1997), genlik oranı ve karmaşıklık yöntemlerini Güney Amerika'daki deprem ve patlatma kayıtlarının üzerinde kullanmışlardır. İsrail'in sismik ağı üzerinden Orta Doğu için doğal ve yapay sarsıntılar genlik oranı ile sınıflandırılırken; Koch ve Fâh (2002)'de aynı yöntemi Pg ve Sg dalgalarını kullanarak Almanya ve Çek Cumhuriyeti sınırındaki Vogtland bölgesinde uygulamışlardır. Genlik oranı ve karmaşıklık yöntemleri bir arada kullanılarak kısa-periyodlu cihazlarda kaydedilmiş sismogramlar Arai ve Yoshida (2004) tarafından analiz edilmiştir. Türkiye'de ise İstanbul (Horasan vd., 2009), Muğla (Sertçelik ve Başer, 2010), Trabzon (Kartal ve Horasan, 2011), Konya (Öğütçü vd., 2011), Kütahya (Kekovalı vd., 2012), Sakarya (Budakoğlu ve Horasan, 2018), Manisa (Ceydilek ve Horasan, 2019), Yalova-Bursa (Yavuz vd., 2019a), Doğu Marmara (Sertçelik vd., 2020), Edirne (Tan vd., 2021) ve Seydişehir-Konya (Yavuz, 2022) bölgelerinde genlik oranı ve karmaşıklık yöntemleri kullanılarak doğal ve yapay sarsıntılar ayırma çalışmaları yapılmıştır. Süreç içerisinde birçok yöntem üzerinden de kaynak türü belirleme çalışmaları yapılmıştır. P_n/S_n , P_n/L_g ve bu dalga fazlarının spektral oranları kullanılarak Norveç'te bir kaynak türü ayırma çalışması yapılmıştır (Baumgard ve Young, 1990).

Güç yoğunluğu spektrumu ve koda azalım oranları kullanılarak Aki (1995) tarafından doğal ve yapay sarsıntılar analiz edilmiştir. ABD'nin Wyoming bölgesinde ise yüksek frekanslı dalgaların spektrogramları üzerinden yapay sarsıntılar belirlenmeye çalışılmıştır (Carr ve Garbin, 1998). Yapay sinir ağları, makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi bilgisayar tabanlı algoritmalar kullanılarak da kaynak türü belirleme çalışmaları yapılmıştır (Ursino vd., 2001; Kuyuk vd., 2011; Li vd., 2018). *P* ve *S* dalgalarının köşe frekansları hesaplanarak kaynak türü belirleme analizleri de yapılmıştır (Allmann vd., 2008; Ataeva vd., 2017). Dalgaların frekans içerikleri üzerinden spektral analizler ile de doğal ve yapay sarsıntıların ayırıştırılmaya çalışılmıştır (Kolaj, 2018; Yavuz vd., 2019b; Korrat vd., 2022).

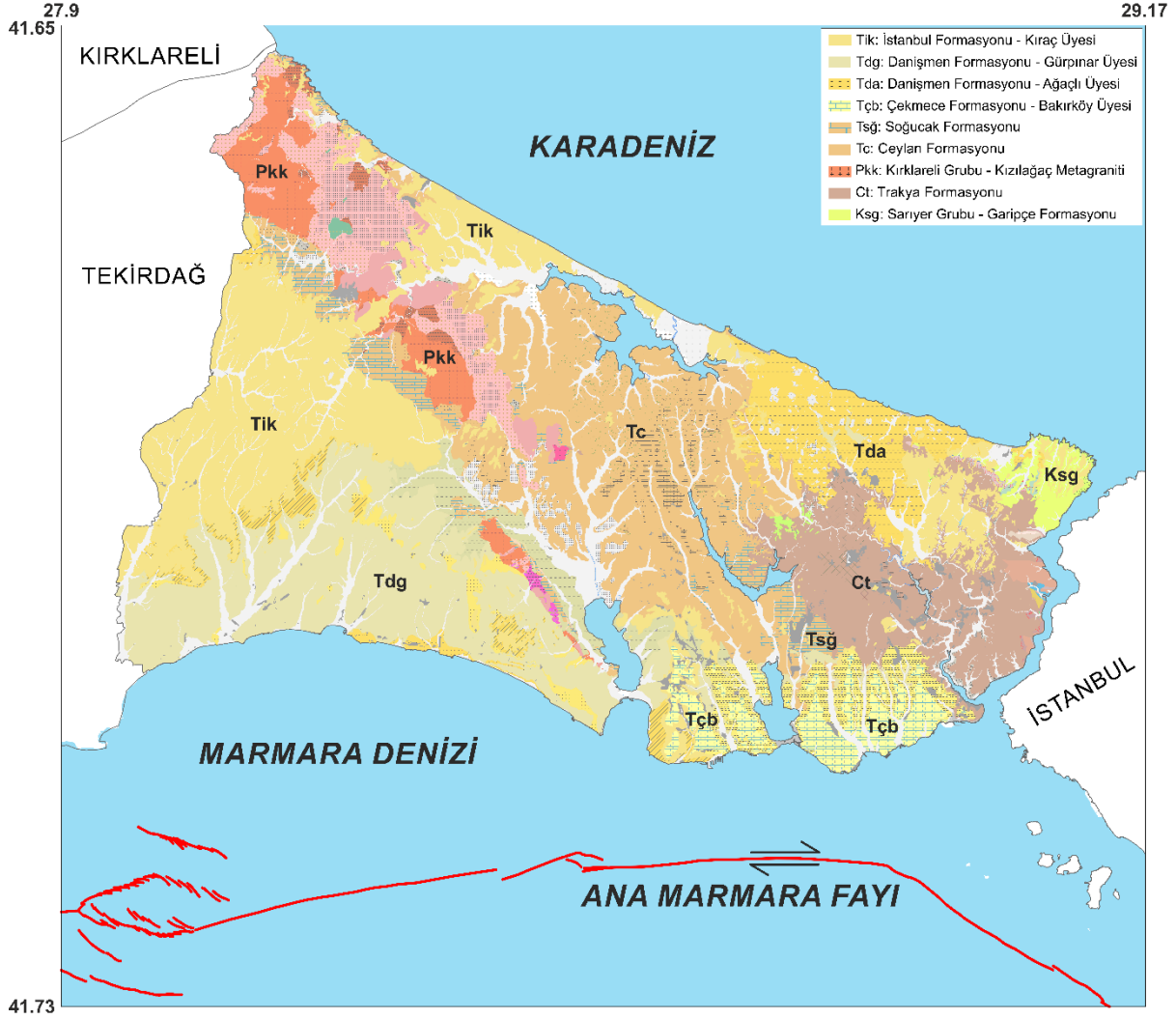
Çalışmada, İstanbul Avrupa Yakasında meydana gelen magnitüdü $M \leq 2.8$ olan Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem ve Tsunami İzleme Merkezi (KRDAE-BDTİM) tarafından işletilen altı sismik istasyonda kaydedilen 195 olaya ait 270 adet dalga şekline genlik oranı ve karmaşıklık analizleri yapılmıştır. İki yöntemin değerlendirilebilmesi için de Lineer ve Karesel Ayırıştırma Fonksiyonları (LAF, KAF) kullanılmış olup söz konusu olayların kaynak türleri belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece kataloglarda tanımlanan olayların kaynak türlerinin sağlıklı bir şekilde tanımlanabilmesi için ön çalışma başlatılmıştır. Ayrıca güvenilir kataloglar elde edilmesi ile de sismoloji, sismotektonik, depremsellik, afet araştırmaları vs. çalışmalarda ikincil analizlerin yapılmasına ihtiyaç olmayacak olup, araştırmacılar için zaman tasarrufunun ortaya çıkarılması hedeflenmektedir.

2. Bölgenin Tektonik ve Jeolojik Özellikleri (The Tectonic and Geological Features of the Region)

Bölge tektonik olarak İstanbul Zonu adı verilen, Avrasya Levhası üzerinde konumlanmaktadır. Güneyinde, Marmara Denizi'nin içerisinde, doğu-batı doğrultulu şekilde uzanan sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun kuzey kolu olan Ana Marmara Fayı'nın kontrolü altındadır (Emre vd., 2013) (Şekil 1). İstanbul Avrupa Yakasının söz konusu faya olan uzaklığı 10-70 km arasında değişmekte olup, olası bir depremde gözlenecek en büyük ivme değerleri de 0.189-0.566 g arasında değişmektedir (AFAD, 2018). Özellikle Avcılar, Büyükçekmece, Beylikdüzü ve Küçükçekmece gibi güney sahilleri olmak üzere, Arnavutköy ve Eyüpsultan gibi kuzey sahillerinde de heyelan aktivitesi yoğunlukla gözlenmektedir (İBB, 2020). Ayrıca, deprem-zemin-yapı ilişkisinin detaylı olarak irdelenmesi gereken bölgede deprem dalgalarının zemin üzerindeki büyütme etkisinin de gözlendiği (Örn: 1999 İzmit Depremi-Avcılar hasarı) böylece sismik dalgaların zemin kaynaklı olarak yapılar üzerindeki etkileri gözler önündedir (Tezcan vd., 2002; Dalgıç, 2004; Şen, 2007). Tektonik olarak İstanbul Zonu'nun sınırını oluşturan bölgede Ana Marmara Fayı'na bağlı olarak İstanbul il alanının karasasında ise kısmen lokal bazda bazı faylanma çizgisellikleri önerilmektedir (Okay ve Tüysüz, 1999; Ergintav vd., 2011; Tur vd., 2015). Ayrıca Karadeniz'de, tanımlanmayan fakat sahil şeridinde paralel şekilde gözüken basen üzerinde küçük-orta büyüklükte depremler kayıtlara geçmiştir. Böylece gerek Marmara Denizi ve Karadeniz'de gerekse de karasal alanda mikro ölçekte tektonik aktivitenin varlığından da söz edilmektedir.

İstanbul Avrupa Yakasının jeolojik yapısına bakıldığında; batısında Permiyen yaşlı Kızılağaç Metagraniti (Pkk) ile birlikte Üst Oligosen-Orta Miyosen yaşlı çakıl ve kumların (Tik), güneybatısında Orta Oligosen-Alt Miyosen yaşlı kilitaşı ve kumtaşlarının (Tdg), güneydoğusunda Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı kilitaşı ve kireçtaşlarının (Tçb), doğusunda Üst Kretase yaşlı volkanik andezit ve bazaltların (Ksg), orta kısmında Orta/Üst Eosen yaşlı kireçtaşlarının (Tsğ), orta ve kuzey kısımda ise Üst Eosen-Oligosen yaşlı kireçtaşlarının (Tc), Alt Karbonifer yaşlı kumtaşı, çakıltaşı ve kireçtaşlarının (Ct) ve Orta Oligosen-Alt Miyosen yaşlı kömür arakatlı kum, çakıl ve killerin (Tda) hakim olduğu görülmektedir (İBB, 2011) (Şekil 1).

İl genelindeki malzeme ihtiyacından kaynaklı olarak özellikle bölgenin orta ve kuzey kısmında yoğun olarak gözlenen kireçtaşlarının egemenliğinden kaynaklı taş ocakları işletmelerinin de yaygınlaştığı göze çarpmaktadır. Söz konusu ocak işletmelerinde ise malzeme elde etmek amacıyla patlatmaların yapıldığı, bunların ise küçük-magnitüdü sismik olaylara neden olduğu gözler önündedir. Ayrıca bu olaylar, sismoloji merkezleri tarafından deprem kataloglarına da işlenmektedir.



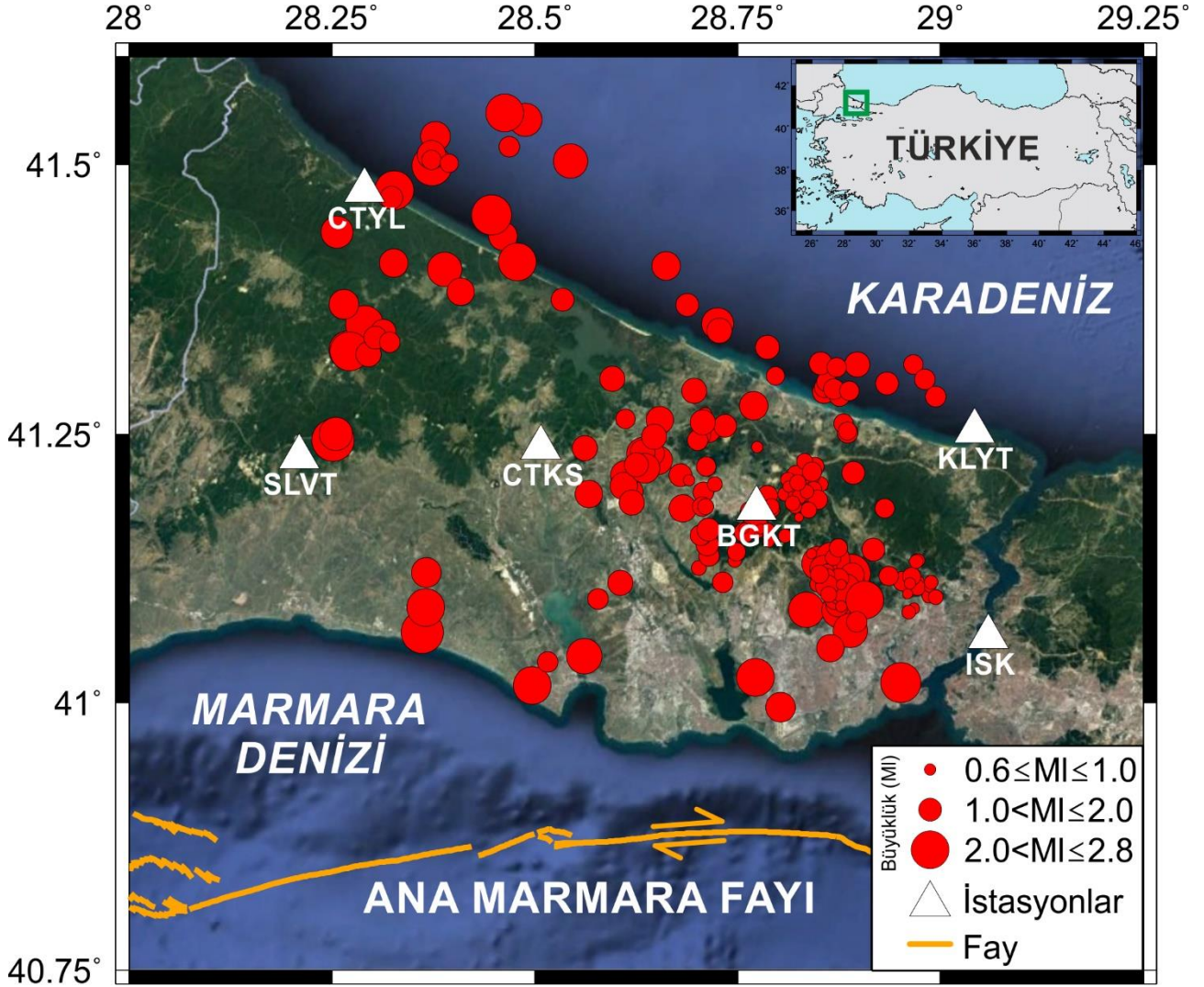
Şekil 1. İstanbul ili Avrupa Yakasının jeolojisi ve civarının tektonik elemanları. Jeolojik birimler, İBB (2011)'den alınarak basitleştirilmiştir. (Geology of the European Side of Istanbul and tectonic elements of its surroundings. Geological formations have been simplified from İBB, 2011)

3. Veri Özellikleri (Data Set)

Çalışmada, KRDAE-BDTİM tarafından işletilen altı adet zayıf yer hareketi istasyonlarının kaydettiği sismik sinyaller için ayırma analizleri uygulanmıştır (Tablo 1, Şekil 2). Tüm istasyonlar üç bileşenli hız-ölçer sensöre sahip olup; söz konusu sismoloji merkezi tarafından, örnekleme aralığı saniyede 100 örnek olacak şekilde ayarlanmıştır. İstasyonların kuruluş zamanları dikkate alındığında aynı olayın tüm istasyonlarda gözlenmesi amacıyla 2007 yılından sonraki olaylar kullanılmıştır. Böylece, 2007-2021 yılları arasındaki 14 yıllık süreçte İstanbul ilinin Avrupa Yakasında kataloglanmış düşük gürültü seviyesine sahip, sinyal kalitesi yüksek, sayısallaştırma hatası olmayan ve faz okumalarının sağlıklı şekilde yapılabildiği 195 sismik olaya ait 270 adet düşey bileşen sismogramları KRDAE-BDTİM veri tabanından indirilmiştir (Şekil 2). Zaman sürecinin uzun tutulması ile farklı periyotlarda çalışan muhtemel taş ocağı sahalarına konsantre olunurken yasal yolların dışında meydana gelebilecek patlatmaların olabilme ihtimalinden dolayı da tüm saat dilimleri incelenmiştir. Uzun dönem içerisinde kayıtlara geçen çok sayıda patlatma kaydı mevcuttur. Ayırma fonksiyonlarının sağlıklı bir şekilde elde edilebilmesi için az sayıda olan mikro deprem aktivitesi göz önünde bulundurularak, farklı konumlardaki patlatma kayıtları da önemsenerek, benzer konumlardaki yapay sarsıntılarının sayısı azaltılmıştır. Olayları kayıt eden istasyon sayısının ve azimutal dağılımının yetersiz kalması, kullanılan kabuk modelinin uyumsuz olabileceği, çözüm algoritmasının değişkenlik gösterebileceği ve özellikle faz okumalarındaki hatalardan kaynaklı, mikro-sismik olaylar için konum ve derinlik hataları ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, olayların konumları ve derinlikleri üzerinden kaynak türü tanımlaması yapılmamıştır. Fakat konum hatası potansiyelinin yüksek olduğu kıyı sınırına yakın deniz için sismik olaylar, sonuçların tüm çalışma sahasını kapsayabilmesi açısından seçilmiştir.

Tablo 1. Deprem istasyonlarına ait bilgiler (The informations of the seismic stations)

Kodu	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Yükseklik (m)	Kuruluş Tarihi
ISK	41.0615	29.0592	85	01.01.1997
KLYT	41.2530	29.0420	30	18.05.2006
BGKT	41.1810	28.7730	80	29.05.2007
SLVT	41.2288	28.2098	180	01.08.2007
CTKS	41.2373	28.5072	47	28.09.2007
CTYL	41.4760	28.2897	77	29.09.2007

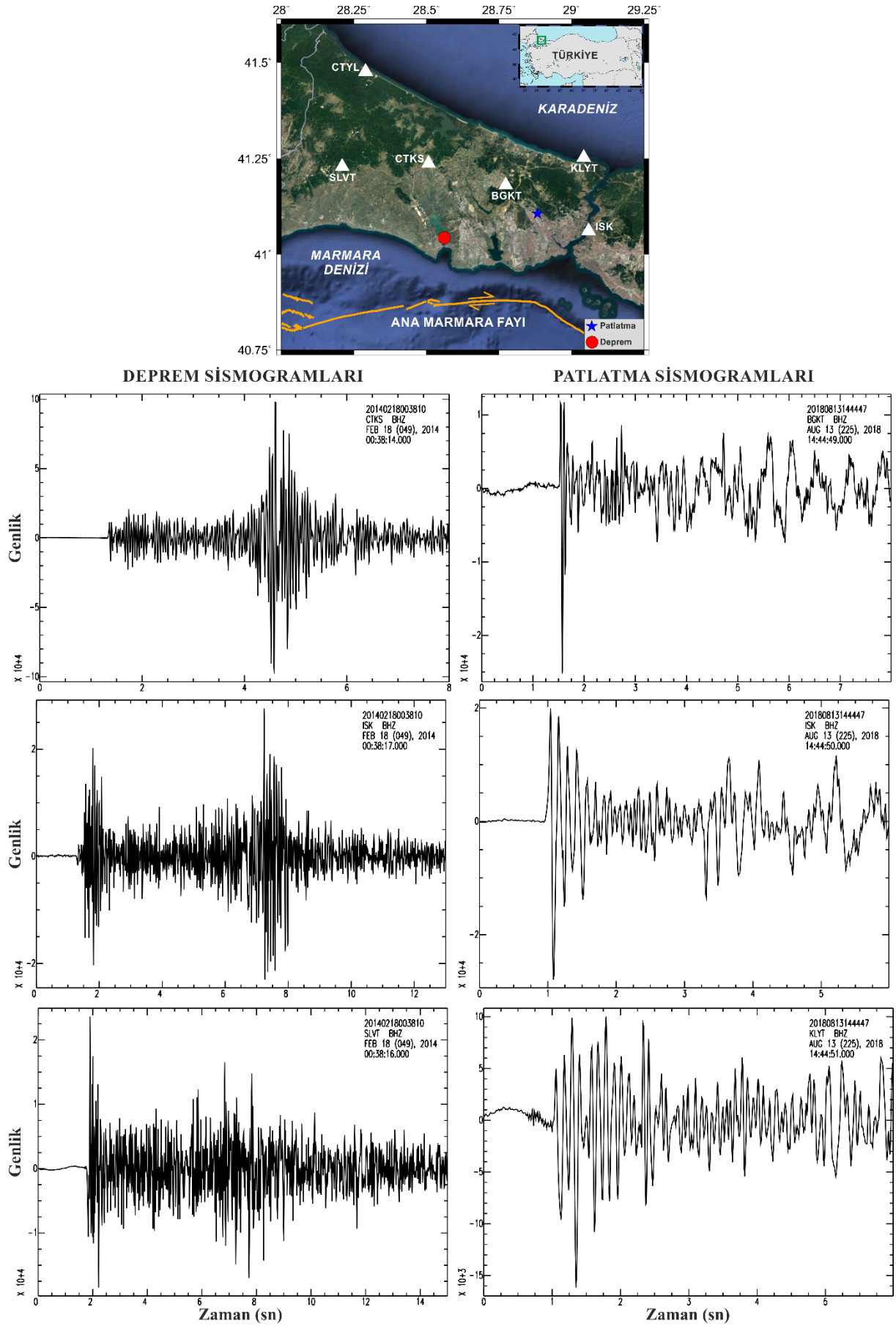


Şekil 2. Olayların dış merkez dağılımları ve deprem istasyonlarının konumları
(The epicenter distribution and the locations of the seismic stations)

4. Yöntem (Method)

Altı adet istasyon tarafından kayıtlara geçen 195 adet olaya ait 270 adet düşey bileşen sismogramları genlik oranı ve karmaşıklık yöntemleri ile analiz edilmiştir. Sınıflandırma aşamasında ise Lineer ve Karesel Ayrıştırma Denklemleri (LAF, KAF) kullanılmıştır.

Ayrıştırma analizlerinin yapılması için öncelikle sismik olayların kaynak türlerine ait bir bilgi girişi yapılması gerekmektedir. Dalga şekillerindeki *P* ve *S* dalga genlikleri, *P* dalgası ilk hareket yönü, koda dalgası azalımı ve *R_g* dalga fazlarının gözlenmesi gibi görsel olarak olayların kaynak türleri tanımlanmıştır. Yasal olmayan patlatmaların olabileceği ihtimalinden dolayı oluş zamanları, mikro büyüklükteki olaylar olduğu için de konum ve derinlik gibi parametrelerde ortaya çıkabilecek muhtemel hatalar ihmal edilmiştir. Böylece herhangi bir olaya ait dalga şeklinden doğal veya yapay kaynaklı sarsıntı olduğu görsel olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Bu görsel tayin işlemine "ilk tahmin" adı verilmektedir. KRDAE-BDTİM kataloglarında kaynak türü belirlenmesi işleminin herhangi bir sayısal analiz yapılmadan gözleme bağlı ve alansal olarak yapıldığı bilinmektedir. Böylece, bu çalışmada kaynak türlerinin ilk tanımlamalarının yapılması ile daha güvenilir bir yol izleneceği ön görülmüştür.



Şekil 3. 18.02.2014 00:38:10.39 depremine ($M=2.4$) ve 13.08.2018 14:44:47.63 patlatmasına ($M=2.0$) ait düşey bileşen sismogramları ve olayların harita üzerindeki konumları (Vertical component seismograms of 18.02.2014 00:38:10.39 earthquake ($M=2.4$) and 13.08.2018 14:44:47.63 quarry blast ($M=2.0$) and their locations on the map)

Genlik oranı yöntemi ile düşey bileşen sismogramında gözlenen en yüksek P ve S dalga genliklerinin birbirlerine oranı ile en yüksek S dalga genlik değerinin logaritması alınmaktadır. Bu durum deprem kayıtlarında S dalga genliklerinin P dalga genliklerine nazaran daha yüksek genlikli olması ile yapay sarsıntılarda da durumun tam tersinin gözükmesi prensibi üzerine geliştirilmiştir (Baumgard ve Young, 1990; Wüster, 1993).

Karmaşıklık yönteminde ise yine düşey bileşen sismogramı, P dalgası ile S dalgası varış zamanı arası birinci pencere (t_0 t_1), belirtilen sürenin S dalgası varış zamanından sonrasına eklenmesi de ikinci pencere (t_1 t_2) olarak iki ayrı pencereye ayrılır. Her iki pencerede bulunan sinyallerin güçleri $s^2(t)$ hesaplanarak birbirine oranlanır ve bu değere karmaşıklık-C değeri adı verilir (Eşitlik 1) (Gitterman ve Shapira, 1993; Arai ve Yoshida, 2004). Sonrasında ise pencerelerin bütününe yüksek ve alçak olmak üzere iki ayrı band geçişli filtre (h_1 - h_2 , l_1 - l_2) uygulanarak sinyalin spektral genliği $a(f)$ hesaplanır. Bu çalışmada kullanılan sismik olayların enerjileri ve kayıt edildikleri istasyona olan uzaklıklarından dolayı l_1 , l_2 , h_1 ve h_2 sırasıyla 1, 5, 5, 10 Hz olarak optimum şekilde belirlenmiştir. İki ayrı filtre ile hesaplanan spektral genlikleri birbirine oranlanır ve spektral oran-Sr adı verilen değer elde edilir (Eşitlik 2) (Gitterman ve Shapira, 1993; Arai ve Yoshida, 2004). Doğal kaynaklı olaylarda sismik dalgaların daha uzun bir zaman penceresinde değişken frekans içeriğine ve genliklere sahip olduğu bilinirken, yapay kaynaklı olaylarda bu zaman aralığının daha dar olduğu, frekansların ve genliklerin daha spesifik kaldığı gözlenmiştir (Beck ve Wallace, 1997; Yılmaz vd., 2013; Yavuz vd., 2019a; Sertçelik vd., 2020).

$$C = \int_{t_1}^{t_2} s^2(t) dt / \int_{t_0}^{t_1} s^2(t) dt \quad (1)$$

$$Sr = \int_{h_1}^{h_2} a(f) df / \int_{l_1}^{l_2} a(f) df \quad (2)$$

Genlik oranı ve karmaşıklık yöntemlerinden elde edilen parametrelerin "ilk tahmin" bilgisi ile değerlendirilmesi yapıldığında ayırmaştırmanın gerçekleştirilebilmesi için bazı istatistiksel yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Bu çalışmada ise Lineer ve Karesel Ayırmaştırma Fonksiyonları (LAF, KAF) kullanılarak sismik olayların sınıflandırılması yapılmıştır. Ayırmaştırma analizleri, normal dağılımlar ile oluşturulmuş farklı gruplardaki verilerin sınıflandırılması amacıyla kullanılmaktadır (Fisher, 1936; Seber, 1984; Krzanowski, 1988). Örnek gruplarını en iyi şekilde ayıran ve lineer veya karesel olarak elde edilen denklemler aracılığıyla değişken bölgeleri belirlemek amacıyla kullanılan fonksiyonlar regresyon analizi kullanarak iki veri grubunu sınıflamaktadır. LAF, tüm veri gruplarına ait tek bir kovaryans matrisi sağlarken, KAF aynı kovaryans matrisini her bir grup için sağlamaktadır. Kovaryans matrisi için daha fazla esneklik sağlayan KAF, LAF'a göre daha iyi uyum sağlayıcı niteliindedir. Böylece KAF'ın LAF'a göre daha karmaşık veri setlerini temsil ederek sınır denklemini ürettiği belirtilmektedir (Frank ve Hlavac, 2004; Kuyuk vd., 2014; Tüysüz ve Yaylalı, 2014). LAF ve KAF'a ait matris fonksiyonlarının gösterimi Eşitlik 3 ve 4'te sırasıyla verilmektedir.

$$F_{LAF} = K + L(1) * x + L(2) * y \quad (3)$$

$$F_{KAF} = K1 + [x \ y] * L1 + \sum \{ ([x \ y] * Q1) * [x \ y] \} \quad (4)$$

Denklemlerde K , sınır denkleminin sabit terimi; L ve Q ise sınır denkleminin sırasıyla lineer ve karesel katsayılarıdır.

5. Bulgular (Results)

Bu çalışmada, İstanbul Avrupa Yakası'nda 2007-2021 yılları arasında meydana gelen 195 adet $M \leq 2.8$ büyüklüğünde olaya ait KRDAE-BDTİM tarafından işletilen altı adet deprem istasyonunda kayıtlara geçen 270 adet dalga şekli için genlik oranı ve karmaşıklık yöntemleri ile Lineer ve Karesel Ayırmaştırma Fonksiyonları kullanılarak ayırmaştırma analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayırmaştırma fonksiyonlarının güvenli bir şekilde elde edilebilmesi için, istasyon bazlı olarak iki farklı sınıfa (deprem, patlatma) ait olayların dalga şekillerinin temiz ve operasyonel bir hataya sahip olmayan ve sayı olarak optimum düzeyde dağılımı ön planda tutularak görsel olarak ilk tahmin ile başlangıç kaynak türleri tanımlaması yapılmıştır. Ardından istasyon bazlı olarak iki farklı yöntem ve istatistiksel analiz kullanılarak ayırmaştırma analizleri yapılmaya çalışılmıştır.

KAF'ın LAF'a göre kovaryans matrisi için daha fazla esneklik sağlamasından dolayı SLVT istasyonu hariç diğer beş istasyon için KAF'ın daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. BGKT istasyonundan kaydedilen verilere uygulanan genlik oranı yönteminin LAF analizi sonuçlarında %75.41 ile en düşük başarı oranı elde edilmiştir. Buna karşılık CTYL istasyonundaki dalga şekillerine uygulanan karmaşıklık analizi yönteminin KAF analizi sonuçları ise %100 ile en başarılı olarak hesaplanmıştır (Tablo 2).

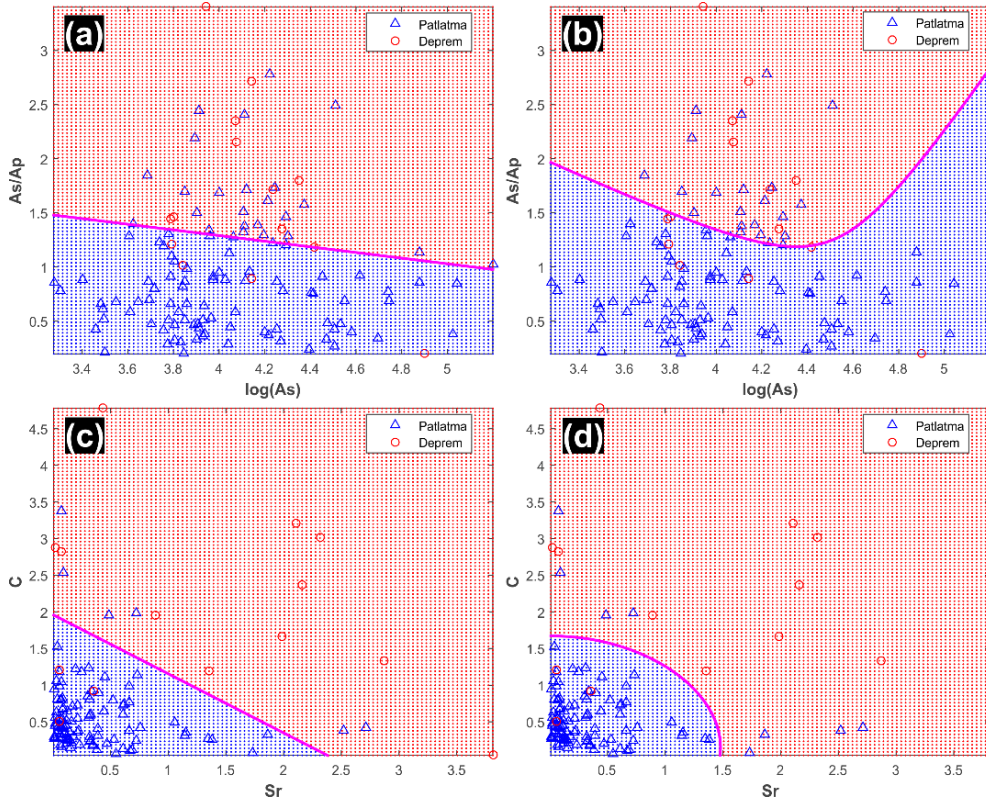
Yöntem bazlı bakıldığında ise karmaşıklık yönteminin genlik oranı yöntemine göre daha başarılı sonuçlar sunduğu yine SLVT istasyonu hariç diğer beş istasyon için görülmüştür. Genlik oranı yönteminin başarı oranlarının %75.41 ile %88.89 arasında, karmaşıklık yönteminin ise %90.91 ile %100 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Genlik oranı

yönteminde dalga şekli üzerinde sadece zaman ortamında hesaplama yapılırken, karmaşıklık yönteminde sinyalin frekans ortamdaki enerjisi de hesaplanmaktadır. Böylece frekans ortamı analizleri ile başarı oranının da arttığı gözlenmiştir (Tablo 2).

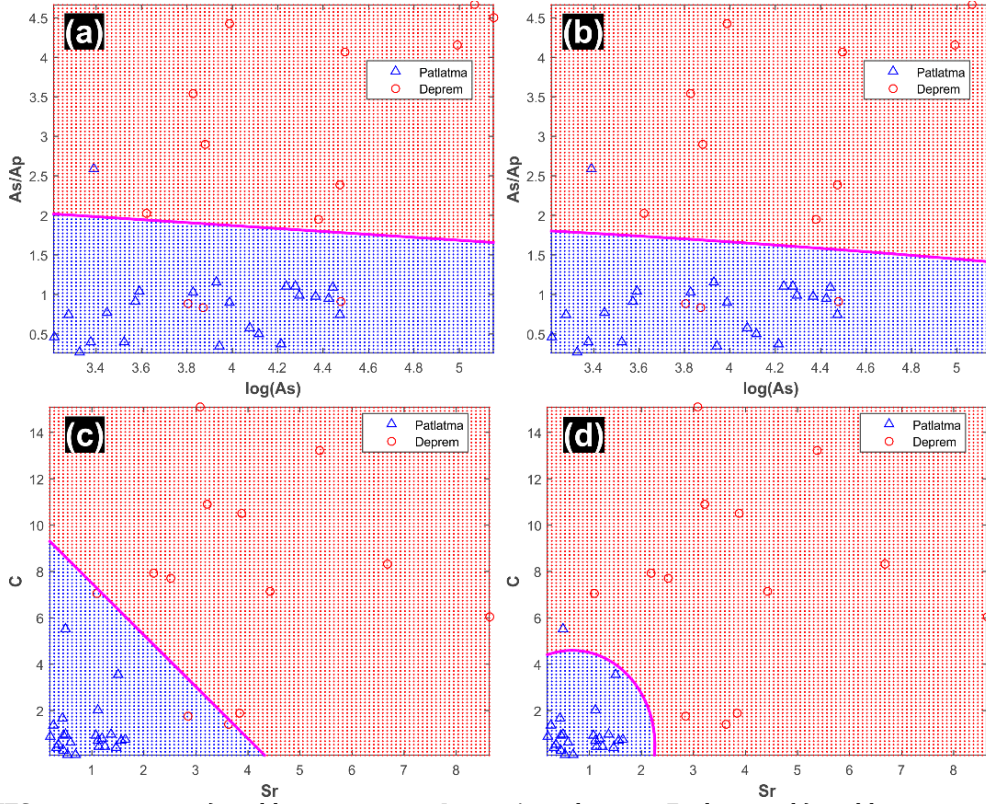
Patlatma sinyallerinin depremlere göre daha başarılı sonuçlarla ayrılaştırıldığı görülmektedir. Bu durum veri sayısı ihmal edildiğinde özellikle kısa dış merkez uzaklıklarında deprem dalgalarının patlatmalara göre daha karmaşık bir karakteristiğe sahip olmasından kaynaklıdır (Tablo 2).

SLVT istasyonunun kaydetmiş olduğu dalga şekilleri üzerinden yapılan analizlerde ise hem genlik oranı yönteminin karmaşıklık yöntemine göre hem de LAF'ın KAF'a göre daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. Bu durum diğer beş istasyondan elde edilen sonuçlara göre tam ters bir durum ortaya koymaktadır. Öncelikle toplam veri sayısı diğer istasyonlardakinden daha azdır ve ilk tahmine göre deprem sayısının patlatma sayısına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Patlatma sinyalleri, kısa dış merkez mesafelerinde daha sade karakteristiğe sahipken uzaklığın artması ile yer içi heterojenitesi, dalgaların girişimi, atenüasyon vb. nedenlerden dolayı da karmaşık bir içerik ortaya çıkarmaktadır. Depremler ise kaynak yapısı itibarıyla çoğu zaman karmaşık bir mekanizmaya sahiptir. Böylece gerek veri sayısının azlığından gerekse de dalga şekillerindeki muhtemel karmaşıklıktan dolayı da söz konusu istasyondaki sonuçların diğer istasyonlardan farklı çıktığı önerilmektedir.

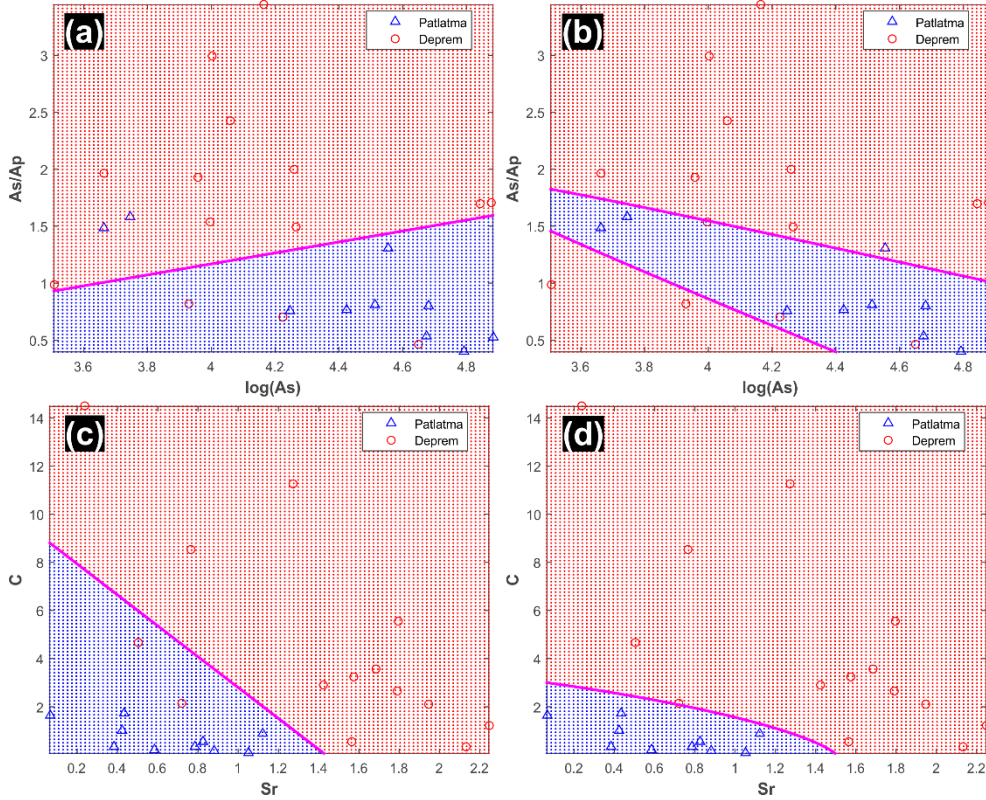
Elde edilen ayrılaştırma fonksiyonları istasyon bazlı olarak Şekil 4-9 arasında, analiz sonuçlarının sayısal bilgileri ise yine istasyon bağımlı olarak Tablo 2'de gösterilmektedir.



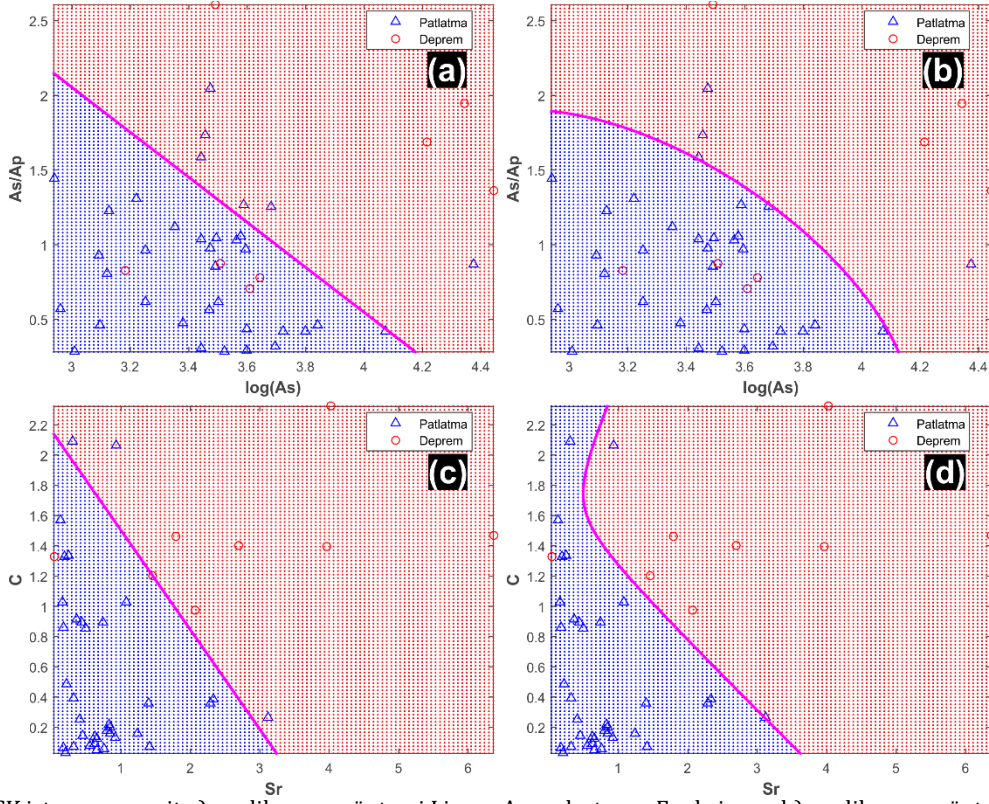
Şekil 4. BGKT istasyonuna ait a) genlik oranı yöntemi Lineer Ayrılaştırma Fonksiyonu b) genlik oranı yöntemi Karesel Ayrılaştırma Fonksiyonu c) karmaşıklık yöntemi Lineer Ayrılaştırma Fonksiyonu d) karmaşıklık yöntemi Karesel Ayrılaştırma Fonksiyonu grafikleri. (The graphs for the station BGKT a) amplitude ratio method Linear Discriminant Function b) amplitude ratio method Quadratic Discriminant Function c) complexity method Linear Discriminant Function d) complexity method Quadratic Discriminant Function)



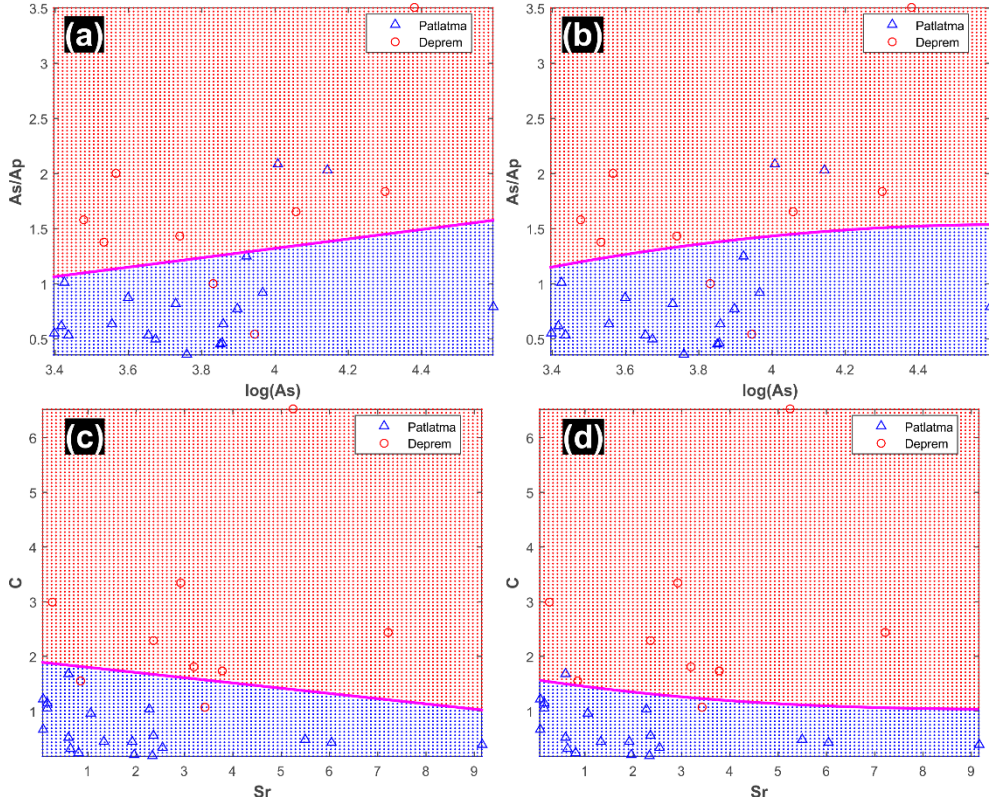
Şekil 5. CTKS istasyonuna ait a) genlik oranı yöntemi Lineer Ayrıştırma Fonksiyonu b) genlik oranı yöntemi Karesel Ayrıştırma Fonksiyonu c) karmaşıklık yöntemi Lineer Ayrıştırma Fonksiyonu d) karmaşıklık yöntemi Karesel Ayrıştırma Fonksiyonu grafikleri. (The graphs for the station CTKS a) amplitude ratio method Linear Discriminant Function b) amplitude ratio method Quadratic Discriminant Function c) complexity method Linear Discriminant Function d) complexity method Quadratic Discriminant Function)



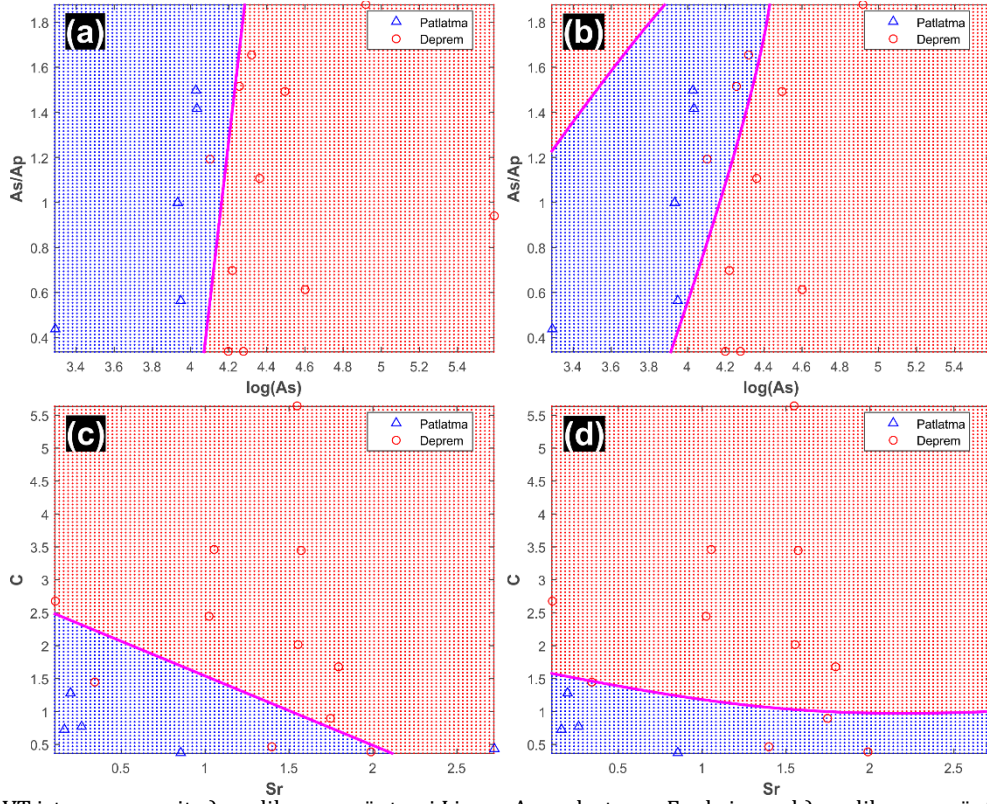
Şekil 6. CTYL istasyonuna ait a) genlik oranı yöntemi Lineer Ayrıştırma Fonksiyonu b) genlik oranı yöntemi Karesel Ayrıştırma Fonksiyonu c) karmaşıklık yöntemi Lineer Ayrıştırma Fonksiyonu d) karmaşıklık yöntemi Karesel Ayrıştırma Fonksiyonu grafikleri. (The graphs for the station CTYL a) amplitude ratio method Linear Discriminant Function b) amplitude ratio method Quadratic Discriminant Function c) complexity method Linear Discriminant Function d) complexity method Quadratic Discriminant Function)



Şekil 7. ISK istasyonuna ait a) genlik oranı yöntemi Linear Ayrımıştırma Fonksiyonu b) genlik oranı yöntemi Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonu c) karmaşıklık yöntemi Linear Ayrımıştırma Fonksiyonu d) karmaşıklık yöntemi Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonu grafikleri. (The graphs for the station ISK a) amplitude ratio method Linear Discriminant Function b) amplitude ratio method Quadratic Discriminant Function c) complexity method Linear Discriminant Function d) complexity method Quadratic Discriminant Function)



Şekil 8. KLYT istasyonuna ait a) genlik oranı yöntemi Linear Ayrımıştırma Fonksiyonu b) genlik oranı yöntemi Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonu c) karmaşıklık yöntemi Linear Ayrımıştırma Fonksiyonu d) karmaşıklık yöntemi Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonu grafikleri. (The graphs for the station KLYT a) amplitude ratio method Linear Discriminant Function b) amplitude ratio method Quadratic Discriminant Function c) complexity method Linear Discriminant Function d) complexity method Quadratic Discriminant Function)

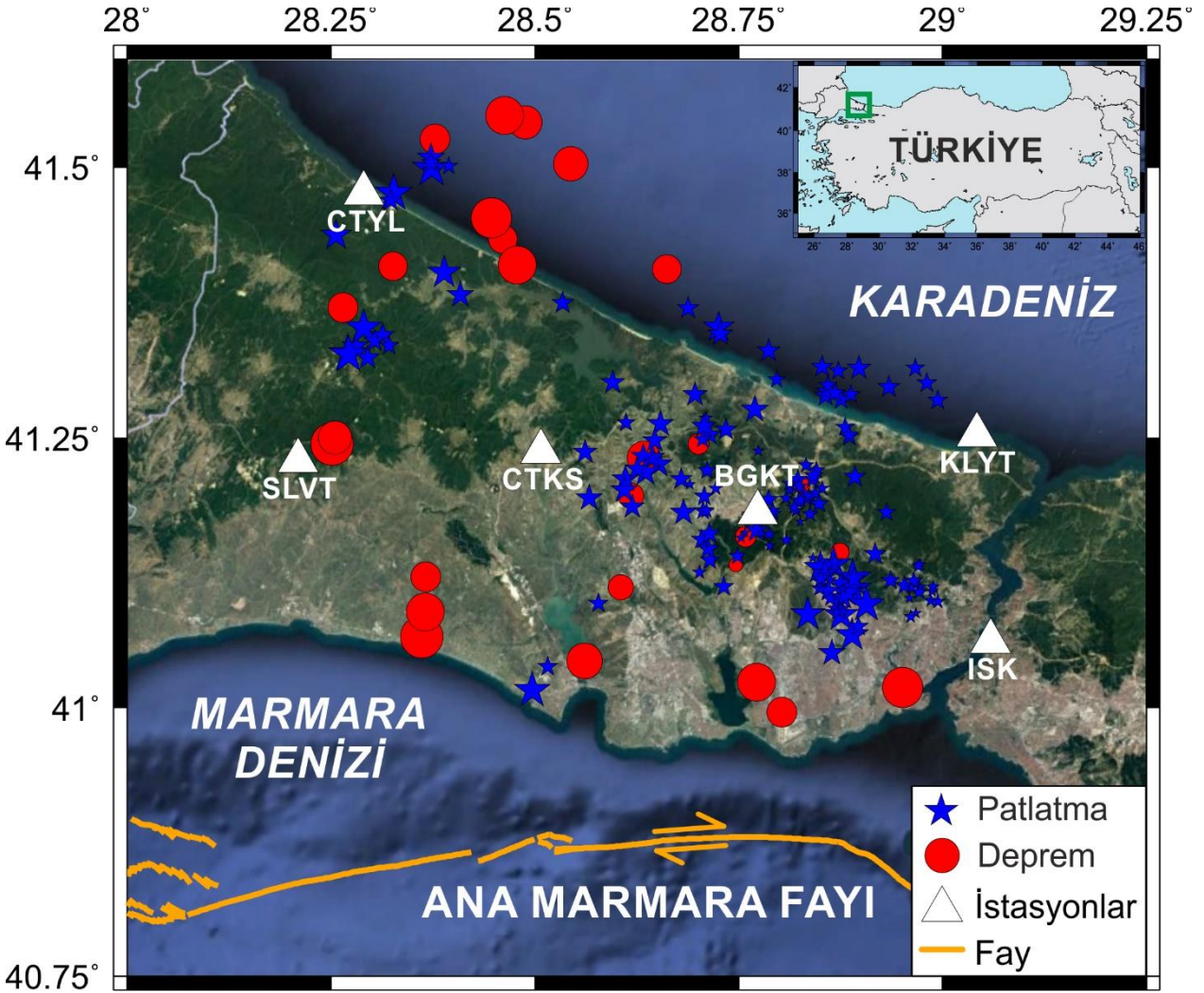


Şekil 9. SLVT istasyonuna ait a) genlik oranı yöntemi Lineer Ayrımlaştırma Fonksiyonu b) genlik oranı yöntemi Karesel Ayrımlaştırma Fonksiyonu c) karmaşıklık yöntemi Lineer Ayrımlaştırma Fonksiyonu d) karmaşıklık yöntemi Karesel Ayrımlaştırma Fonksiyonu grafikleri. (The graphs for the station SLVT a) amplitude ratio method Linear Discriminant Function b) amplitude ratio method Quadratic Discriminant Function c) complexity method Linear Discriminant Function d) complexity method Quadratic Discriminant Function)

Tablo 2. Tüm istasyonlara ait yöntem ve istatistiksel yaklaşım bazlı analiz sonuçları. LAF: Lineer Ayrımlaştırma Fonksiyonu, KAF: Karesel Ayrımlaştırma Fonksiyonu, D: Deprem, P: Patlatma, H-D: Hatalı Deprem, H-P: Hatalı Patlatma. (Method and statistical approach based analyses results for all stations. LAF: Linear Discriminant Function, KAF: Quadratic Discriminant Functions, D: Earthquake, P: Blast, H-D: Incorrect Earthquake, H-P: Incorrect Blast)

İstasyon	Yöntem	İstatistiksel Yaklaşım	Sayı				Başarı Oranı (%)		
			D	P	H-D	H-P	D	P	Genel
BGKT	İlk Tahmin		14	108	-	-	-	-	-
	Genlik Oranı	LAF	9	83	5	25	64.29	76.85	75.41
		KAF	7	86	7	22	50.00	79.63	76.23
	Karmaşıklık	LAF	11	101	3	7	78.57	93.52	90.98
		KAF	11	101	3	7	78.57	93.52	90.98
Sonuç		14	108	-	-	-	-	-	
CTKS	İlk Tahmin		13	23	-	-	-	-	-
	Genlik Oranı	LAF	10	22	3	1	76.92	95.65	88.89
		KAF	10	22	3	1	76.92	95.65	88.89
	Karmaşıklık	LAF	10	23	3	-	76.92	100.00	91.67
		KAF	13	22	-	1	100.00	95.64	97.22
Sonuç		11	25	-	-	-	-	-	
CTYL	İlk Tahmin		14	10	-	-	-	-	-
	Genlik Oranı	LAF	11	8	3	2	78.57	80.00	79.17
		KAF	11	10	3	-	78.57	100.00	87.50
	Karmaşıklık	LAF	12	10	2	-	85.71	100.00	91.67
		KAF	14	10	-	-	100.00	100.00	100.00
Sonuç		14	10	-	-	-	-	-	
ISK	İlk Tahmin		8	36	-	-	-	-	-
	Genlik Oranı	LAF	4	30	4	6	50.00	83.33	77.27
		KAF	4	32	4	4	50.00	88.89	81.82
	Karmaşıklık	LAF	8	32	-	4	100.00	88.89	90.91
		KAF	8	33	-	3	100.00	91.67	93.18
Sonuç		9	35	-	-	-	-	-	
KLYT	İlk Tahmin		9	19	-	-	-	-	-
	Genlik Oranı	LAF	7	17	2	2	77.78	89.47	85.71
		KAF	7	17	2	2	77.78	89.47	85.71
	Karmaşıklık	LAF	7	19	2	-	77.78	100.00	92.86
		KAF	8	18	1	1	88.89	97.74	92.86
Sonuç		8	20	-	-	-	-	-	
SLVT	İlk Tahmin		11	5	-	-	-	-	-
	Genlik Oranı	LAF	10	5	1	-	90.91	100.00	93.75
		KAF	8	5	3	-	72.73	100.00	81.25
	Karmaşıklık	LAF	8	4	3	1	72.73	80.00	75.00
		KAF	7	5	4	-	63.64	100.00	75.00
Sonuç		11	5	-	-	-	-	-	

İstasyon bazlı analizleri yapılan verilerin her bir yöntem ve istatistiksel yaklaşım için elde edilen sonuçları "ilk tahmin" ile kıyaslanarak başarı oranları hesaplanmıştır. Bir olaya ait kaynak türü belirlenirken daha başarılı olan analizden elde edilen parametrenin de genel sonuca etkisi daha büyük olacaktır. Bu şekilde her bir olayın kaynak türünün tanımlaması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 195 adet sismik olayın 28 tanesinin deprem, 167 tanesinin ise patlatma kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 10, Ek 1).



Şekil 10. Büyüklüğe göre çizilen, analizlere dayalı kaynak türü dağılımları
(Source type distribution based on analyses, plotted by magnitude)

6. Sonuçlar ve Tartışma (Conclusions and Discussion)

Bu çalışmada, İstanbul ili Avrupa Yakasında kayıtlara geçen 195 adet sismik olayın KRDAE-BDTİM tarafından işletilen altı adet istasyonundaki 270 adet dalga şekli kullanılmıştır. Sinyaller görsel olarak incelenerek, "ilk tahmin" adı verilen bir kaynak türü tanımlaması yapılmıştır. Ardından, genlik oranı ve karmaşıklık yöntemleri ile Lineer ve Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonları kullanılarak kaynak türü belirleme analizi yapılmıştır.

İstasyon bazlı uygulama yapılan bu çalışmada, karmaşıklık yönteminin genlik oranı yöntemine nazaran daha başarılı sonuçlar sunduğu; keza, Karesel Ayrımıştırma Fonksiyonlarının Lineer Ayrımıştırma Fonksiyonlarına göre daha başarılı ayrımıştırma gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Veri dağılımı göz önünde bulundurulduğunda ise bazı durumlarda önerilen yöntem ve istatistiksel analizin başarı oranının daha geride kaldığı görülmüştür. Yöntemler ve istatistiksel analizlerin başarı oranları göz önünde bulundurulduğunda ise her bir sismik sinyal için kaynak türü ayrımı başarı oranları üzerinden yapılmıştır. Birden fazla istasyonun kaydettiği aynı olay için de benzer ağırlıklandırma üzerinden kaynak türü belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, 195 adet sismik olayın 28 tanesinin doğal, 167 tanesinin ise yapay kaynaklı olduğu elde edilmiştir.

Deprem ve patlatma sinyallerinin karakteristikleri birbirinden farklı olarak önerilse de dış merkez uzaklığının artması ile sinyalin karakteristiğindeki değişimden dolayı dalga şeklinin içeriği değişmeye başlamaktadır. Böylece gerek zaman gerekse de frekans ortamı yöntemleri ile sinyalin yapısı incelenerek kaynak türü analizi yapılabilmektedir. Kimi zaman görsel inceleme sonucu kaynak türü taraması yapılabilir de özellikle uzaklık, yer yapısı, atenuasyon vb. gibi durumlar ile değişen dalga şekline çoklu yöntemler ile analizler uygulanarak daha net ve güvenilir sonuçların elde edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, elde edilen ayrımıştırma fonksiyonları ile başarı oranları göz önünde bulundurulduğunda, bölgede meydana gelecek mikro sismik aktivitenin kaynak türünü belirlemek amacıyla bu çalışmadan elde edilen istasyon bazlı ayrımıştırma fonksiyonlarının kullanılması tavsiye edilmektedir.

Mikro sismik aktivitenin kullanıldığı bilimsel çalışmalarda, bu çalışmada olduğu gibi küçük büyüklükteki olayların kaynak türlerinin güvenilir bir şekilde tanımlanması büyük önem arz etmektedir. Sağlıklı sonuçlara erişmek için, optimum düzeyde veri sayısı değerlendirilerek çok sayıda yöntemin bir arada kullanılması önerilmektedir. Gerek geçmiş katalogların yenilenmesi gerekse de gelecekte meydana gelecek sismik olayların detaylı bir şekilde irdelenmesi ile hata payları en aza indirilerek en güvenilir sonuçların sunulması elzemdir. Böylece sismoloji, sismotektonik, depremsellik, deprem tehlike analizleri gibi çalışmalar için daha güvenilir kaynak türü tanımlamasına sahip homojen deprem katalogları ortaya konularak, araştırmacıların zaman kaybı yaşadığı ikincil çalışmaların da önüne geçilecektir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Sismik veriler Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (KRDAE-BDTİM) sunucusundan indirilmiştir. Şekiller ArcGIS 10.8.1, GMT (Wessel ve Smith, 1998), SAC (Goldstein vd., 2003), MATLAB 2015a ve Google Earth Pro kullanılarak çizilmiştir. Değerli yorumları ve katkılarından dolayı alan editörü Prof. Dr. Çağlayan Balkaya'ya ve hakemlere, Jeoloji Müh. Tarık Talay'a, Harita Tek. Nurcan Seyyar'a ve İBB Deprem ve Zemin İnceleme Şube Müdürlüğüne en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası.
- Aki, K., 1995. Discriminating Underground Explosions from Earthquakes Using Seismic Coda Waves. University of Southern California Los Angeles Center for Earth Sciences.
- Allmann, B.P., Shearer, P.M., Hauksson, E., 2008. Spectral discrimination between quarry blasts and earthquakes in southern California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98 (4), 2073-2079.
- Arai, N., Yosida, Y., 2004. Discrimination by short-period seismograms. International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute (IIEE). Lecture Note, Global Course, Tsukuba, Japan, 10.
- Ataeva, G., Gitterman, Y., Shapira, A., 2017. The ratio between corner frequencies of source spectra of P-and S-waves—a new discriminant between earthquakes and quarry blasts. *Journal of Seismology*, 21 (1), 209-220.
- Badawy, A., Gamal, M., Farid, W., Soliman, M.S., 2019. Decontamination of earthquake catalog from quarry blast events in northern Egypt. *Journal of Seismology*, 23 (6), 1357-1372.
- Barka, A.A., 1992. The north Anatolian fault zone. *Annales tectonicae*, 6, 164-195.
- Baumgardt, D.R., Young, G.B., 1990. Regional seismic waveform discriminants and case-based event identification using regional arrays. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80 (6B), 1874-1892.
- Beck, S.L., Wallace, T.C., 1997. Broadband seismic recordings of mining explosions and earthquakes in South America. Arizona University Tucson Dept of Geosciences.
- Budakoğlu, E., Horasan, G., 2018. Classification of seismic events using linear discriminant function (LDF) in the Sakarya region, Turkey. *Acta Geophysica*, 66 (5), 895-906.
- Carr, D.B., Garbin, H.D., 1998. Discriminating ripple-fired explosions with high-frequency (> 16 Hz) data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88 (4), 963-972.
- Ceydilek, N., Horasan, G., 2019. Manisa ve çevresinde deprem ve patlatma verilerinin ayırt edilmesi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 1 (1), 26-47.
- Dalgıç, S., 2004. Factors affecting the greater damage in the Avcılar area of Istanbul during the 17 August 1999 Izmit earthquake. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 63 (3), 221-232.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye. ISBN: 978-605-5310-56-1.
- Ergintav, S., Demirbağ, E., Ediger, V., Saatçılar, R., Inan, S., Cankurtaranlar, A., Dikbaş, A., Baş, M., 2011. Structural framework of onshore and offshore Avcılar, Istanbul under the influence of the North Anatolian fault. *Geophysical Journal International*, 185 (1), 93-105.
- Fisher, R.A., 1936. The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of eugenics*, 7 (2), 179-188.
- Franc, V., Hlavác, V., 2004. Statistical pattern recognition toolbox for Matlab. Prague, Czech: Center for Machine Perception, Czech Technical University.
- Gitterman, Y., Pinsky, V., Shapira, A., 1998. Spectral classification methods in monitoring small local events by the Israel seismic network. *Journal of Seismology*, 2 (3), 237-256.
- Gitterman, Y., Shapira, A., 1993. Spectral discrimination of underwater explosions. *Israel Journal of Earth Sciences*, 42 (1), 37-44.
- Goldstein P., Dodge D., Firpo M., Minner L., 2003. SAC2000: Signal processing and analysis tools for seismologists and engineers, in: Lee WHK, Kanamori H, Jennings PC, Kisslinger C (eds) invited contribution to "The IASPEI international handbook of earthquake and engineering seismology". AcademicPress, London.

- Hedlin M.A., Minster J.B., Orcutt, J.A., 1989. The time-frequency characteristics of quarry blasts and calibration explosions recorded in Kazakhstan, USSR, *Geophysical Journal International*, 99 (1), 109-121.
- Hedlin M.A., Minster J.B., Orcutt J.A., 1990. An automatic means to discriminate between earthquakes and quarry blasts, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80 (6B), 2143-2160.
- Horasan, G., Güney, A.B., Küsmezer, A., Bekler, F., Ögütçü, Z., Musaoğlu, N., 2009. Contamination of seismicity catalogs by quarry blasts: An example from Istanbul and its vicinity, northwestern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34 (1), 90-99.
- İBB, 2011. İstanbul İl Alanının Jeolojisi.
- İBB, 2020. İstanbul İli Heyelan Bilgi Envanteri Projesi – İlçe Heyelan Bilgi Kitapçıkları.
- Kartal, Ö.F., Horasan, G., 2011. Trabzon ve civarındaki deprem ve patlatma verilerinin birbirinden ayırt edilmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15 (1), 68-74.
- Kekovalı, K., Kalafat, D., Deniz, P., 2012. Spectral discrimination between mining blasts and natural earthquakes: application to the vicinity of Tunbilek mining area, western Turkey. *International Journal of Physical Sciences*, 7 (35), 5339-5352.
- Krzanowski, W.J., 1988. Principles of multivariate analysis: a user's perspective. Clarendon.
- Koch, K., Fäh, D., 2002. Identification of earthquakes and explosions using amplitude ratios: the Vogtland area revisited. In *Monitoring the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty: Seismic Event Discrimination and Identification* (pp. 735-757). Birkhäuser, Basel.
- Kolaj, M., 2018. Discriminating between low-magnitude shallow earthquakes and road construction blasts near Big Salmon River, New Brunswick, Canada. *Seismological Research Letters*, 89 (5), 1966-1976.
- Korrat, I.M., Lethy, A., ElGabry, M.N., Hussein, H.M., Othman, A.S., 2022. Discrimination Between Small Earthquakes and Quarry Blasts in Egypt Using Spectral Source Characteristics. *Pure and Applied Geophysics*, 179 (2), 599-618.
- Kuyuk, H.S., Yildirim, E., Dogan, E., Horasan, G., 2011. An unsupervised learning algorithm: application to the discrimination of seismic events and quarry blasts in the vicinity of Istanbul. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11 (1), 93-100.
- Kuyuk, H.S., Yildirim, E., Dogan, E., Horasan, G., 2014. Clustering seismic activities using linear and nonlinear discriminant analysis. *Journal of Earth Science*, 25 (1), 140-145.
- Li, Z., Meier, M.A., Hauksson, E., Zhan, Z., Andrews, J., 2018. Machine learning seismic wave discrimination: Application to earthquake early warning. *Geophysical Research Letters*, 45 (10), 4773-4779.
- MATLAB Release 2015, The MathWorks, Inc, Natick, Massachusetts, United States.
- McClusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., Ben Sari, D., Tealeb, A., 2003. GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions. *Geophysical Journal International*, 155 (1), 126-138.
- Okay, A.I., Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 156 (1), 475-515.
- Ögütçü, Z., Horasan, G., Kalafat, D., 2011. Investigation of microseismic activity sources in Konya and its vicinity, central Turkey. *Natural Hazards*, 58 (1), 497-509.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., ... Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111 (B5).
- Seber, G.A., 2009. Multivariate observations. John Wiley & Sons.
- Sertçelik, F., Başer, O. (2010). Güney Ege Bölgesi'nde yapay ve doğal kaynaklı titreşimlerin ayırt edilmesi. *Yerbilimleri*, 31 (3), 141-168.
- Sertçelik, F., Yavuz, E., Birdem, M., Merter, G., 2020. Discrimination of the natural and artificial quakes in the Eastern Marmara Region, Turkey. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 55 (4), 645-665.
- Su, F., Aki, K., Biswas, N.N., 1991. Discriminating quarry blasts from earthquakes using coda waves. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 81 (1), 162-178.
- Şen, Ş., 2007. A fault zone cause of large amplification and damage in Avcılar (west of Istanbul) during 1999 Izmit earthquake. *Natural Hazards*, 43 (3), 351-363.
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., Imren, C., Sakiñç, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., Rangin, C., 2005. The North Anatolian fault: A new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37-112.
- Tan, A., Horasan, G., Kalafat, D., Gülbağ, A., 2021. Discrimination of earthquakes and quarries in the Edirne district (Turkey) and its vicinity by using a linear discriminate function method and artificial neural networks. *Acta Geophysica*, 69 (1), 17-27.
- Tezcan, S.S., Kaya, E., Bal, I.E., Özdemir, Z., 2002. Seismic amplification at Avcılar, Istanbul. *Engineering structures*, 24 (5), 661-667.
- Tur, H., Hoskan, N., Aktas, G., 2015. Tectonic evolution of the northern shelf of the Marmara Sea (Turkey): interpretation of seismic and bathymetric data. *Marine Geophysical Research*, 36 (1), 1-34.
- Tüysüz N., Yaylalı G., 2005. *Jeostatistik Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları, Trabzon.
- Ursino, A., Langer, H., Scarfi, L., Di Grazia, G., Gresta, S., 2001. Discrimination of quarry blasts from tectonic microearthquakes in the Hyblean Plateau (Southeastern Sicily). *Annals of Geophysics*, 44 (4).
- Wessel P., Smith W.H.F., 1998. New, improved version of generic mapping tools released. *EOS Trans. Am. Geophys.*, 79(47), 579.
- Wüster, J., 1993. Discrimination of chemical explosions and earthquakes in central Europe—a case study. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83 (4), 1184-1212.
- Yavuz, E. (2022). Refining micro-seismic catalogs around Seydişehir, Turkey. *Annals of Geophysics*, 65 (5).
- Yavuz, E., Sertçelik, F., Livoğlu, H., Irmak, T.S., 2019a. Gaziantep-Kahramanmaraş Bölgesinde Meydana Gelen Deprem ve Taş Ocağı Patlatmalarının Zaman ve Frekans Ortamı Yöntemleri ile Sınıflandırılması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 642-651.
- Yavuz, E., Sertçelik, F., Livoğlu, H., Woith, H., Lühr, B.G., 2019b. Discrimination of quarry blasts from tectonic events in the Armutlu Peninsula, Turkey. *Journal of Seismology*, 23 (1), 59-76.
- Yılmaz, Ş., Bayrak, Y., Çınar, H., 2013. Discrimination of earthquakes and quarry blasts in the eastern Black Sea region of Turkey. *Journal of Seismology*, 17 (2), 721-734.

Ek 1. Olayların bilgileri ve kaynak türleri (The information and the source types of the events)

No	Oluş Tarihi	Oluş Zamanı	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Büyüklik (M)	Kaynak Türü
1	01.08.2007	08:10:04.50	41.0162	28.4968	2.5	Patlatma
2	01.12.2007	14:47:35.70	41.1100	28.8900	2.6	Patlatma
3	06.12.2007	09:47:43.20	41.1200	28.8900	2.6	Patlatma
4	13.03.2008	14:38:20.80	41.1300	28.8500	2.3	Patlatma
5	13.03.2008	14:48:54.37	41.0868	28.8347	2.4	Patlatma
6	14.03.2008	16:24:51.06	41.0863	28.8757	2.4	Patlatma
7	09.04.2008	12:18:34.18	41.0235	28.7718	2.5	Deprem
8	08.09.2008	10:06:32.99	41.0673	28.8887	2.3	Patlatma
9	09.09.2008	15:07:07.31	41.0510	28.8640	1.8	Patlatma
10	09.09.2008	17:52:17.35	41.1105	28.8845	2.4	Patlatma
11	11.09.2008	12:42:27.93	41.3278	28.2705	2.6	Patlatma
12	28.10.2008	16:04:49.79	41.0658	28.3610	2.8	Deprem
13	29.01.2009	12:50:30.09	41.4032	28.3888	2.3	Patlatma
14	30.03.2009	04:00:06.10	41.0187	28.9508	2.7	Deprem
15	16.04.2009	13:40:56.61	41.3348	28.2802	1.8	Patlatma
16	10.06.2009	14:34:09.92	41.4988	28.3730	2.7	Patlatma
17	26.06.2009	11:34:50.28	41.3522	28.2903	2.5	Patlatma
18	03.01.2010	19:51:49.06	41.2443	28.2512	2.8	Deprem
19	02.07.2010	15:16:20.25	41.4763	28.3265	2.6	Patlatma
20	06.07.2010	13:39:11.24	41.3270	28.2718	2.6	Patlatma
21	20.01.2012	08:17:04.27	41.2503	28.2550	2.2	Deprem
22	13.02.2012	14:32:47.57	41.1330	28.8667	2.4	Patlatma
23	20.03.2012	09:23:36.24	41.1643	28.7718	1.7	Patlatma
24	23.03.2012	15:06:25.45	41.1245	28.8560	1.8	Patlatma
25	01.04.2012	07:34:22.61	41.4337	28.4610	1.9	Deprem
26	04.04.2012	14:02:22.66	41.0908	28.8725	1.5	Patlatma
27	23.04.2012	13:15:26.05	41.4377	28.2563	2.1	Patlatma
28	01.06.2012	07:29:27.80	41.0890	28.3652	2.5	Deprem
29	07.06.2012	11:17:06.98	41.3705	28.2647	2.0	Deprem
30	13.06.2012	10:57:01.48	41.1212	28.3660	2.0	Deprem
31	15.07.2012	06:20:09.74	41.5415	28.4883	2.2	Deprem
32	07.12.2012	04:31:43.23	41.5480	28.4627	2.5	Deprem
33	18.07.2013	16:04:32.51	41.3825	28.4088	1.8	Patlatma
34	30.09.2013	12:58:47.29	41.4087	28.3257	1.9	Deprem
35	18.02.2014	00:38:10.39	41.0435	28.5608	2.4	Deprem
36	10.06.2014	14:45:50.15	41.3040	28.7967	1.2	Patlatma
37	24.06.2014	18:07:58.83	41.4692	28.3228	1.5	Patlatma
38	25.12.2014	13:17:03.68	41.3452	28.3130	1.7	Patlatma
39	05.02.2015	10:50:03.39	41.3245	28.2947	1.7	Patlatma
40	24.02.2015	12:10:28.31	41.3147	28.9663	1.3	Patlatma
41	13.04.2015	14:44:03.93	41.3397	28.3033	1.5	Patlatma
42	02.05.2015	10:26:01.26	41.3007	28.9805	1.4	Patlatma
43	19.11.2015	10:27:52.17	41.5263	28.3773	2.0	Deprem
44	24.11.2015	10:06:15.28	41.2848	28.9942	1.4	Patlatma
45	03.12.2015	10:36:56.52	41.3527	28.7250	2.1	Patlatma
46	01.03.2016	10:49:52.22	41.5093	28.3725	1.9	Patlatma
47	17.12.2016	01:23:17.07	41.5033	28.5442	2.3	Deprem
48	11.01.2017	02:12:53.54	41.4533	28.4468	2.7	Deprem
49	22.03.2017	10:10:34.17	41.3463	28.7272	1.7	Patlatma
50	12.05.2017	10:11:51.25	41.3307	28.7868	1.6	Patlatma
51	14.05.2017	10:12:46.20	41.2118	28.6792	1.5	Patlatma
52	14.06.2017	10:43:43.07	41.3145	28.8975	1.7	Patlatma
53	30.06.2017	09:56:32.88	41.1810	28.6825	1.8	Patlatma
54	11.08.2017	19:41:04.99	41.4100	28.4783	2.5	Deprem
55	23.08.2017	09:57:04.49	41.2972	28.9343	1.5	Patlatma
56	11.09.2017	09:48:31.47	41.4063	28.6620	1.9	Deprem
57	15.09.2017	09:30:04.73	41.2318	28.6337	2.2	Deprem
58	18.09.2017	09:01:42.65	41.3352	28.3212	1.4	Patlatma
59	22.09.2017	09:58:35.09	41.2890	28.8567	1.5	Patlatma
60	24.09.2017	09:29:27.38	41.2932	28.8572	1.4	Patlatma
61	24.09.2017	10:05:30.55	41.2257	28.6522	1.9	Patlatma
62	29.09.2017	13:48:01.82	41.1118	28.6055	1.7	Deprem
63	03.10.2017	09:53:19.30	41.2763	28.7698	1.9	Patlatma
64	11.10.2017	12:15:21.72	41.1963	28.6180	1.7	Deprem
65	13.11.2017	10:05:23.32	41.2322	28.6445	1.7	Patlatma
66	14.11.2017	09:57:03.26	41.2332	28.6330	1.7	Patlatma
67	15.11.2017	10:00:23.01	41.2122	28.6113	1.9	Patlatma
68	17.11.2017	10:32:24.86	41.2017	28.6093	1.8	Patlatma
69	17.11.2017	10:03:49.07	41.2185	28.6357	2.0	Patlatma
70	18.11.2017	09:28:31.27	41.2985	28.8597	1.3	Patlatma
71	23.11.2017	13:15:04.01	41.2630	28.6538	1.8	Patlatma
72	25.11.2017	10:24:55.41	41.2477	28.6470	1.7	Patlatma
73	25.11.2017	06:29:39.27	41.1945	28.5665	1.8	Patlatma
74	26.11.2017	11:10:31.44	41.2642	28.6118	1.3	Patlatma
75	28.11.2017	14:23:13.90	41.2370	28.5617	1.7	Patlatma
76	28.11.2017	12:37:32.34	41.2213	28.6252	1.6	Patlatma
77	30.11.2017	10:42:53.13	41.1862	28.6198	1.7	Patlatma
78	30.11.2017	09:46:10.43	41.3013	28.5957	1.7	Patlatma

No	Oluş Tarihi	Oluş Zamanı	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Büyüklik (M)	Kaynak Türü
79	27.12.2017	10:01:29.61	41.3750	28.5338	1.5	Patlatma
Ek 1. (devamı)						
80	07.01.2018	10:09:31.22	41.2528	28.7147	1.5	Patlatma
81	09.01.2018	09:59:19.69	41.2487	28.7058	1.2	Patlatma
82	03.02.2018	09:35:56.86	41.2447	28.7005	1.4	Deprem
83	15.03.2018	09:32:57.93	41.2577	28.7343	1.5	Patlatma
84	27.03.2018	11:30:55.38	41.0970	28.5778	1.4	Patlatma
85	06.04.2018	11:23:40.04	41.2857	28.8757	1.4	Patlatma
86	12.04.2018	08:51:47.01	41.0383	28.5155	1.4	Patlatma
87	13.04.2018	10:02:53.66	41.2917	28.8688	1.4	Patlatma
88	18.05.2018	10:25:47.06	41.3702	28.6877	1.5	Patlatma
89	21.05.2018	10:18:23.23	41.3158	28.8523	1.5	Patlatma
90	07.06.2018	09:43:08.56	41.3122	28.8718	1.3	Patlatma
91	14.06.2018	09:24:54.05	41.2902	28.8873	1.3	Patlatma
92	02.07.2018	09:37:00.13	41.2035	28.8520	1.0	Patlatma
93	04.07.2018	09:43:26.31	41.2685	28.7097	0.9	Patlatma
94	05.07.2018	09:35:55.36	41.1942	28.8082	0.9	Patlatma
95	10.07.2018	09:39:12.58	41.2612	28.7073	1.7	Patlatma
96	11.07.2018	09:40:01.99	41.2900	28.6965	1.7	Patlatma
97	15.07.2018	07:42:32.72	41.1905	28.8410	0.7	Patlatma
98	18.07.2018	09:57:02.17	41.2197	28.8450	1.2	Patlatma
99	19.07.2018	09:24:59.01	41.2113	28.8402	1.2	Patlatma
100	01.08.2018	14:50:18.13	41.1193	28.8912	1.6	Patlatma
101	01.08.2018	09:44:51.54	41.2065	28.8273	1.1	Deprem
102	02.08.2018	14:47:33.58	41.1427	28.9172	1.5	Patlatma
103	03.08.2018	09:47:42.65	41.0980	28.8717	1.6	Patlatma
104	04.08.2018	14:45:43.63	41.1020	28.8783	1.7	Patlatma
105	08.08.2018	15:38:02.80	41.1170	28.8503	1.1	Patlatma
106	08.08.2018	09:46:49.67	41.5045	28.3728	1.3	Patlatma
107	08.08.2018	09:34:35.62	41.1927	28.8343	0.8	Patlatma
108	09.08.2018	14:46:12.21	41.1158	28.8773	1.1	Patlatma
109	09.08.2018	14:45:22.04	41.1112	28.8518	0.9	Patlatma
110	13.08.2018	14:44:47.63	41.1063	28.8827	2.0	Patlatma
111	14.08.2018	09:32:51.73	41.1988	28.8438	1.1	Patlatma
112	15.08.2018	14:45:30.53	41.1353	28.8680	1.1	Patlatma
113	15.08.2018	09:41:06.91	41.2115	28.8227	1.4	Patlatma
114	17.08.2018	09:41:13.58	41.0897	28.8775	0.8	Patlatma
115	17.08.2018	09:40:25.38	41.1225	28.8603	1.0	Patlatma
116	18.08.2018	10:01:47.47	41.1105	28.8490	1.1	Patlatma
117	24.08.2018	09:39:23.95	41.1892	28.8487	1.3	Patlatma
118	27.08.2018	09:30:54.70	41.1915	28.8233	1.2	Patlatma
119	03.09.2018	10:11:07.00	41.2250	28.8328	1.1	Patlatma
120	11.09.2018	09:57:28.44	41.2078	28.8122	1.0	Patlatma
121	11.09.2018	09:33:15.32	41.2015	28.8128	0.8	Patlatma
122	23.09.2018	09:43:08.02	41.1160	28.8748	1.3	Patlatma
123	23.09.2018	09:36:36.20	41.1727	28.8257	0.6	Patlatma
124	10.10.2018	09:41:17.90	41.1797	28.8373	1.1	Patlatma
125	10.10.2018	09:33:36.05	41.1985	28.8303	1.0	Patlatma
126	11.10.2018	09:31:41.66	41.2153	28.8415	1.3	Patlatma
127	18.10.2018	09:25:08.22	41.1922	28.8260	1.0	Patlatma
128	20.10.2018	09:44:37.47	41.1190	28.8513	0.9	Patlatma
129	21.10.2018	09:29:43.02	41.1965	28.8357	0.9	Patlatma
130	03.11.2018	10:05:19.05	41.1187	28.8615	0.9	Patlatma
131	26.11.2018	09:49:11.02	41.1083	28.8603	1.5	Patlatma
132	02.12.2018	14:34:01.77	41.1100	28.8777	0.7	Patlatma
133	04.01.2019	12:10:43.46	41.0955	28.9063	2.5	Patlatma
134	08.01.2019	11:50:23.87	41.1958	28.7077	1.4	Patlatma
135	01.02.2019	15:35:26.20	41.1257	28.7018	1.0	Patlatma
136	14.03.2019	16:02:09.39	41.1368	28.7148	1.4	Patlatma
137	25.03.2019	17:06:59.33	41.1477	28.7127	1.5	Patlatma
138	01.07.2019	09:45:44.77	41.1607	28.7877	0.9	Patlatma
139	02.07.2019	09:42:42.30	41.1802	28.7932	1.0	Patlatma
140	31.07.2019	16:31:44.68	41.2142	28.8925	1.5	Patlatma
141	03.10.2019	09:43:35.40	41.0753	28.8967	1.4	Patlatma
142	04.11.2019	14:43:01.61	41.2512	28.8857	1.4	Patlatma
143	10.12.2019	09:55:07.47	41.1557	28.8085	0.9	Patlatma
144	11.12.2019	14:44:05.58	41.2383	28.7737	0.8	Patlatma
145	23.12.2019	09:37:33.17	41.1827	28.7785	1.0	Patlatma
146	04.02.2020	09:45:39.76	41.1197	28.8512	1.2	Patlatma
147	18.02.2020	11:30:37.43	41.1117	28.9610	0.8	Patlatma
148	20.02.2020	09:17:50.41	41.2597	28.8807	1.3	Patlatma
149	26.02.2020	14:51:48.75	41.1773	28.7628	1.1	Patlatma
150	06.03.2020	15:18:25.71	41.0877	28.9672	0.8	Patlatma
151	21.03.2020	10:00:26.33	41.1927	28.7870	1.4	Patlatma
152	30.03.2020	10:03:14.19	41.2532	28.8858	1.2	Patlatma
153	30.03.2020	09:32:36.76	41.1577	28.7528	0.8	Patlatma
154	28.04.2020	10:13:20.90	41.1012	28.8620	1.1	Patlatma
155	29.04.2020	10:46:43.87	41.5010	28.3947	1.2	Patlatma
156	30.04.2020	14:44:42.30	41.1827	28.7678	0.9	Patlatma
157	02.05.2020	09:47:28.60	41.1500	28.7878	0.8	Patlatma

158	01.06.2020	14:43:21.06	41.1325	28.7468	0.9	Deprem
-----	------------	-------------	---------	---------	-----	--------

Ek 1. (devamı)

No	Oluş Tarihi	Oluş Zamanı	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Büyüklik (M)	Kaynak Türü
159	11.06.2020	14:55:53.89	41.1390	28.8407	0.7	Patlatma
160	16.07.2020	07:52:33.13	41.1617	28.7780	0.7	Patlatma
161	24.09.2020	14:49:23.02	41.1323	28.9720	0.9	Patlatma
162	02.10.2020	13:58:59.41	41.2070	28.6898	0.8	Patlatma
163	06.10.2020	10:12:54.14	41.1827	28.8203	0.9	Patlatma
164	22.10.2020	14:02:54.96	41.2032	28.7215	1.0	Patlatma
165	17.11.2020	09:11:47.50	41.1555	28.7062	1.2	Patlatma
166	24.11.2020	08:46:20.05	41.0995	28.9858	0.9	Patlatma
167	11.01.2021	14:11:28.53	41.1120	28.7315	1.4	Patlatma
168	12.01.2021	09:41:35.03	41.1560	28.7043	1.4	Patlatma
169	31.01.2021	17:18:23.41	41.1133	28.9535	1.3	Patlatma
170	04.02.2021	17:25:24.78	41.1117	28.9712	1.0	Patlatma
171	11.02.2021	14:17:36.47	41.1407	28.7487	1.2	Patlatma
172	27.03.2021	10:08:33.06	41.1612	28.7140	1.5	Patlatma
173	03.04.2021	15:49:02.69	41.1072	28.9713	1.1	Patlatma
174	06.04.2021	16:03:28.49	41.1175	28.9643	1.2	Patlatma
175	17.04.2021	11:32:12.39	41.1827	28.7063	1.3	Patlatma
176	23.04.2021	15:50:18.75	41.1080	28.9870	0.8	Patlatma
177	23.04.2021	15:39:33.28	41.1018	28.9595	0.7	Patlatma
178	16.05.2021	13:20:19.75	41.5168	28.4682	1.4	Deprem
179	28.05.2021	09:45:22.43	41.2202	28.7110	1.3	Patlatma
180	03.06.2021	10:01:23.25	41.1787	28.7645	1.2	Patlatma
181	09.06.2021	15:13:44.12	41.1588	28.7585	1.4	Deprem
182	11.06.2021	14:49:37.44	41.1827	28.7917	1.1	Patlatma
183	22.06.2021	15:33:31.92	41.1312	28.9702	0.9	Patlatma
184	16.07.2021	15:30:04.70	41.1623	28.7578	0.7	Patlatma
185	20.10.2021	15:41:18.28	41.1113	28.9622	0.8	Patlatma
186	02.11.2021	14:59:23.50	41.2048	28.8243	1.1	Patlatma
187	02.11.2021	07:50:55.32	41.1827	28.7105	1.1	Patlatma
188	19.11.2021	07:23:35.01	40.9960	28.8030	2.0	Deprem
189	19.11.2021	14:56:12.12	41.1123	28.9882	0.9	Patlatma
190	20.11.2021	14:55:18.71	41.1180	28.9362	1.3	Patlatma
191	23.11.2021	14:48:56.94	41.1810	28.9310	1.3	Patlatma
192	29.11.2021	14:54:38.31	41.0847	28.9607	0.9	Patlatma
193	01.12.2021	01:24:56.67	41.1443	28.8745	1.2	Deprem
194	02.12.2021	15:07:08.91	41.1860	28.8180	1.0	Patlatma
195	04.12.2021	14:43:14.86	41.0985	28.9940	1.0	Patlatma



YENİLENEBİLİR ENERJİ OLARAK BİYOGAZ: AKSARAY İLİ ÖRNEĞİ

Hatice ET YAPILCAN¹, Hülya BAKIRTAŞ^{2*}

¹ Ufuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Ankara, Türkiye

² Aksaray Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Aksaray, Türkiye

Anahtar Kelimeler Öz

*Biyogaz,
Enerji,
Isıl Değer.*

Bu çalışmanın amacı, Aksaray ilinde bulunan büyükbaş hayvan atıklarından elde edilebilecek biyogaz potansiyelini ortaya çıkarmak ve bu potansiyelin enerji eş değerini belirlemektir. İlgili literatür incelendiğinde Aksaray ilinin biyogaz potansiyelini inceleyen herhangi bir çalışmanın olmaması, nüfusun %70'inin tarım ve hayvancılıktan geçimini sağlaması ve yenilenebilir enerji konusunun giderek önem kazanması bu çalışmanın yapılmasındaki itici güç olmuştur. Türkiye İstatistik Kurumu ve T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan Aksaray il merkezi ve ilçelerindeki hayvansal üretim miktarlarına ilişkin veriler elde edilmiştir. Araştırma bulgularına göre; en fazla büyükbaş hayvan sayısı bulunan ve dolayısıyla en büyük biyogaz potansiyeline sahip olan ilçenin Merkez ilçe olduğu belirlenmiştir. Veriler il bazında değerlendirildiğinde, yıllık toplam üretilebilecek biyogaz miktarı 62421983 m³/yıldır. Üretilen biyogaz en fazla, elektrik enerjisi açısından ısıl değere sahipken, en az ısıl değer ise gazyağındadır. Elde edilen bulgular, hem literatüre hem de uygulamaya katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda çalışmanın, araştırmacılar ve uygulamacıların farkındalığını arttırması, bu yolla yeni çalışmaların yapılmasına ışık tutacağı düşünülmektedir.

BIOGAS AS RENEWABLE ENERGY: THE CASE OF AKSARAY PROVINCE

Keywords

*Biogas,
Energy,
Heating Value.*

Abstract

The aim of this study is to reveal the biogas potential that can be obtained from cattle waste in Aksaray province and to determine the energy equivalent of this potential. When the relevant literature is examined, the lack of any study examining the biogas potential of Aksaray province, the fact that 70% of the population makes a living from agriculture and animal husbandry, and the increasing importance of renewable energy has been the driving force in this study. Data on the amount of animal production in Aksaray city center and its districts were obtained from the Turkish Statistical Institute and the TR Ministry of Agriculture and Forestry. According to the research findings, it has been determined that the district with the highest number of cattle and therefore the largest biogas potential is the Central district. When the data is evaluated on a provincial basis, the annual total amount of biogas that can be produced is 62421983 m³/year. While the biogas to be produced has the highest thermal value in terms of electrical energy, the least thermal value is in kerosene. The findings will contribute to both the literature and practice. In this context, it is thought that the study will increase the awareness of researchers and practitioners and will shed light on new studies in this way.

Alıntı / Cite

Et Yapılcan, H., Bakirtaş, H., (2023). Yenilenebilir Enerji Olarak Biyogaz: Aksaray İli Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 298-309.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Et Yapılcan, 0000-0002-9062-5260
H. Bakirtaş, 0000-0003-3473-0098

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	28.12.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	02.10.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	02.12.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

*İlgili yazar / Corresponding author: hbakirtas@aksaray.edu.tr +90-382-288-2499

BIOGAS AS RENEWABLE ENERGY: THE CASE OF AKSARAY PROVINCE

Hatice ET YAPILCAN¹, Hülya BAKIRTAŞ^{2**}

Ufuk University, Aksaray University

Highlights

- To reveal the biogas potential of Aksaray province,
- To calculate biogas energy potential
- To draw attention to the role of biogas in achieving sustainability objectives

Purpose and Scope

Today, globalization and rapidly changing technology negatively affect exhaustible resources such as energy. Energy resources have become the most important issue of the whole world (Gürdallı, 2009). According to future energy scenarios, it is predicted that renewable energy sources will play an important role in achieving sustainability objectives (IEA, 2018). The share of our country in primary use of renewable energy is 6.5%. The share of renewable electricity generation is 24% (WWF, 2021). In increasing these rates; international, national and local studies and the use of the findings obtained from these studies in practice are of great importance. When evaluated in this context; although a large part of Aksaray's livelihood (70%) consists of agriculture and livestock, it has been determined that there is no study on the biogas potential of Aksaray. The aim of this study is to examine the concept of biogas and to reveal the biogas potential to be obtained from cattle wastes of Aksaray Province and the energy equivalent of this potential.

Design/methodology/approach

Data on the amount of animal production in Aksaray province and districts were obtained from T.C. Ministry of Agriculture and Forestry and the Turkish Statistical Institute. These are the calculations made using the statistical values in the literature.

In this case, the amount of manure to be obtained per cattle (BHBGM) is determined;

$$BHBGM = \text{Total number of cattle} \times \text{Manure from one cattle (ton/year)} \quad (1)$$

While determining the amount of biogas to be produced (ÜBGM);

$$\dot{U}BGM = BHBGM (\text{ton/year}) \times \text{Biogas from bovine waste per ton (ton/year)} \quad (2)$$

In this case, the conversion of biogas to electrical energy (BGEED) equation;

$$BGEED = \dot{U}BGM \times \text{Electrical energy obtained from one cubic meter of biogas} \quad (3)$$

It has been determined that 1 m³ of biogas has an energy of 5500-6000 kcal, depending on the components in its caloric value (Yılmaz et al., 2018). Compared to other fuels, 1 m³ of Biogas; 4,70 kWh electricity, 3,47 kg wood, 1,18 m³ natural gas, 0,70 L gasoline, 0,65 L diesel oil, 1,46 kg coal (Gümüşçü and Uyanık, 2010).

Findings

In this study, the heat values of the amount of biogas to be produced were revealed by determining the biogas production potential from bovine waste in Aksaray province. Approximately 2% of the cattle raised in our country are raised in Aksaray. The district with the highest number of cattle is Merkez district and therefore, it is the district with the greatest biogas potential. When evaluated on a provincial basis, the annual total amount of obtainable fertilizer is 1 891 575 tons/year. The amount of biogas to be obtained from cattle manure in Aksaray Province is 62 421 983 m³/year. The heating values of the biogas to be obtained from cattle manure are; 293 383 318 kWh electric energy, 38 701 629 L kerosene, 41 198 509 L diesel oil, 46 816 487 L gasoline, 73 657 940 m³ natural gas, 216 604 280 kg wood and 91 136 095 kg coal.

Originality

The study is the first study to reveal the bovine wastes, the biogas potential of these wastes and the heat values of biogas on the basis of Aksaray Province, and it is thought that it will guide both practitioners and researchers.

1. Giriş (Introduction)

Günümüzde enerji, insan hayatının sürdürülebilmesi için vazgeçilmez bir unsurdur. Dünyadaki nüfus artışı, buna bağlı olarak üretim kapasitesinin artışı, sanayileşme ve bilimsel faaliyetlerin gelişmesi ile enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. Enerjinin bir formdan farklı bir forma dönüştürülebilmesi sonucunda modern

* Corresponding author: hbakirtas@aksaray.edu.tr, +90-382-288-2499

toplum şekillenmiş, insanların iş yapabilme gücü artmıştır (Environmental Impact Assessment [EIA], 2020). Enerjinin birçok biçime girebilmesi nedeniyle kapsamlı bir tanımını yapmak zordur. Fakat kavram, bir sistemin iş yapabilme kapasitesi olarak tanımlanabilir. Dünyada yaşayan her organizma enerjiye ihtiyaç duyar. Bu nedenle enerji, günlük hayatta ve endüstriyel açıdan büyük öneme sahiptir (İşgör, t.y.). Yapmak istenilen her iş için kullanılan bir enerji kaynağı vardır. Enerji elde edilmesini sağlayan kaynaklar; yenilenebilir (güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle kaynaklı üretim teknolojileri) ve yenilenemez (petrol, kömür gibi doğada saf bir şekilde bulunan kaynaklar) enerji olarak iki temel başlıkta sınıflandırılmaktadır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM], t.y.; Öçal, 2013).

Küreselleşme ve hızla değişen teknoloji, enerji gibi tükenen kaynakları olumsuz etkilemektedir. Enerji kaynakları tüm dünyanın en önemli konusu haline gelmiştir. Gelecek nesiller için sürdürülebilir enerji üretimi sağlamak amacıyla ülkeler temiz enerji arayışını benimseyerek yenilenebilir enerji üretimi çalışmalarını hızlandırmıştır (Gürdalı, 2009). Örneğin, Danimarka 2050 yılında tamamen yenilenebilir enerji sistemini kullanmayı hedeflemektedir (Korberg vd., 2020). Ülkemizin yenilenebilir enerjinin birincil kullanımındaki payı %6,5'tir. Yenilenebilir elektrik üretiminin payı ise, %24'tür. 2023 yılına kadar Türkiye'nin enerji stratejisi kapsamında yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payının %30'a ulaşması hedeflenmektedir (World Wildlife Fund [WWF], 2021). Ayrıca ülkemizde biyokütle atık potansiyelinin yaklaşık 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) ve üretilebilecek biyogaz miktarının ise 1,5-2 MTEP olduğu tahmin edilmektedir (Gürel, 2020). Enerji üretimi bir ülkenin kalkınmasını sağlayan en önemli etkenlerden biridir. Enerji kullanımı ve endüstriyelleşme toplumun refah seviyesinin yükselmesiyle doğrudan bağlantılıdır (Yılmaz, 2012). Enerji ihtiyacının ülkelerin kendi öz kaynakları ile karşılaması, hem ülke ekonomisinin dışa bağımlılığının hem de maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır (Gürel, 2020).

Günümüz endüstri dünyasında ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlar olarak sınıflandırılan petrol, kömür ve doğalgazdan karşılanmaktadır. Fakat bu enerji kaynaklarının kısıtlı olması ve doğa üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle yeni enerji teknolojilerinin gerekliliği oldukça büyük önem teşkil etmektedir. Enerji kullanımının yarattığı çevresel etkilerin (sera gazı emisyonları, küresel ısınma, hava kirliliği, su kirliliği ve bunların küresel iklim değişikliklerine olan etkisi vs.) en düşük seviyede olabilmesi için ülkelerin yeni enerji kaynaklarına yatırım yapması bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu durum sadece gelişmiş ülkeler açısından değil, gelişmekte olan ülkeler açısından da önemli bir sorundur (Kaya ve Öztürk, 2012:5). Bu nedenle karar vericiler, ekonomik gelişme sağlayan, çevre hassasiyeti olan ve sosyal refahı sağlayan sürdürülebilir çözümler üretmek için farklı yenilenebilir enerjilere odaklanmışlardır (Öztürk vd., 2020).

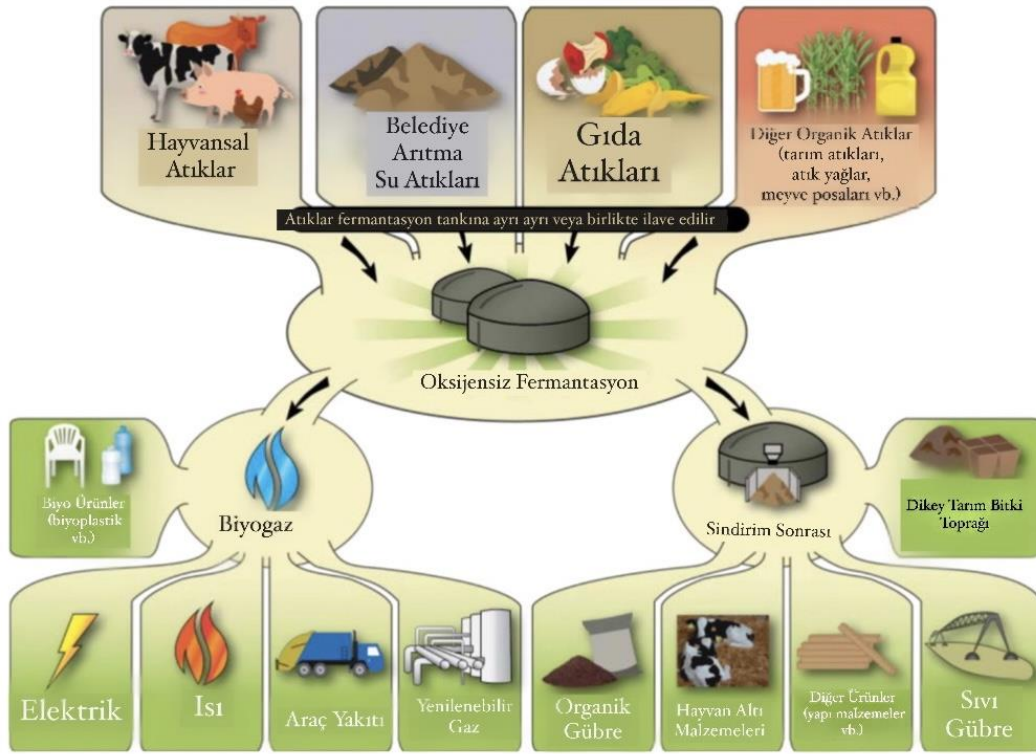
Her geçen gün insanoğlunun artan enerji ihtiyacı, insanoğlunu yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir (Topaloğlu ve İmren, 2011). Dünyada yenilenebilir enerji üretimi 2021 yılı itibariyle %30'a yükselmiştir, bu oran 2019 yılında %27'den daha azdır. Rüzgâr, 2020'den itibaren yaklaşık %17 büyüyerek yenilenebilir enerji üretimindeki en büyük artışı sağlamıştır (IEA, 2021). Temiz enerji üretimi, ülkeler için küresel bir girişime dönüşmüştür. Bununla birlikte gelişmiş ekonomiler, gelişmekte olan ekonomilere oranla temiz enerji üretiminden daha fazla katma değer elde etmektedir. Gelişmiş ülkelerin temiz bir ekonomi politikası, tüm sektörlerde enerji üretiminin gelişimini, elektrik enerjisini gündelik hayata uygulama ve elektrik sektörünün karbonsuzlaştırılmasına olanak tanımaktadır (Sandor vd., 2020).

Gelecekteki enerji senaryolarına göre sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmakta yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir rol oynayacağı öngörülmektedir. Bu durum iklim aktivistleri ve çevreciler tarafından dikkatle izlenmektedir. 2035 yılına kadar fosil yakıt kullanımının devam edeceği, 2035 yılından sonra ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artacağı belirtilmektedir (IEA, 2018). Atmosferdeki karbondioksit miktarını azaltma politikasında yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle biyogazdan elde edilen enerji, gelecekteki en baskın yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak görülmektedir (Appels vd., 2011). Atıklardan biyogaz üretimi yıllardır bilinen ve üzerinde pek çok çalışma yapılmış bir konudur. Yaşam sürdüğü müddetçe, biyogaz farklı kaynaklardan elde edilebileceği için önemli bir enerji kaynağıdır. Diğer yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında 7/24 üretim yapma kapasitesine sahip olması, verimliliğin yüksek olmasına ve daha cazip hale gelmesine sebep olmaktadır (Namlı, Akça ve Çelik, 2020). Bu çalışmada, biyogaz kavramı incelenerek, büyükbaş hayvan atıklarından hareketle Aksaray İl'inin büyük baş hayvansal atıklardan elde edilecek biyogaz potansiyelini belirlemek amaçlanmıştır. İlgili literatür incelendiğinde Aksaray ilinin biyogaz potansiyelinin incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanılmaması ve nüfusun %70'inin tarım ve hayvancılıktan geçimini sağlaması bu çalışmanın itici gücü olmuştur. Bu durum, çalışmanın önemini de ortaya koymaktadır. Çalışma, Aksaray İl'i temelinde büyükbaş hayvan atıkları, bu atıkların biyogaz potansiyeli ve biyogazın ısı değerlerinin ortaya çıkarılması açısından yapılan ilk çalışma olup, hem uygulamalara hem de araştırmacılara rehberlik edeceği düşünülmektedir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Organik maddelerin, oksijensiz ortamda bozunması sonucu oluşan karbondioksit, metan ve az miktarda hidrojen sülfür gaz karışımına biyogaz denir (Yılmaz vd., 2018). Biyogazın içeriğinde çeşitli gazlar bulunmaktadır. Bunlar; %50-%75 oranında metan, %25-%50 oranında karbondioksit, %0-%10 oranında nitrojen, %5-%6 oranında su ve %0-%3 oranlarında hidrojen sülfürdür (Sethi, 2018). Biyogaz, içerisindeki metan fazlalığı nedeniyle doğalgaza benzemektedir. Bu nedenle doğal gazın kullanıldığı birçok alanda (ısıtma, elektrik üretimi ve araçlarda yakıt) kullanılabilme esnekliğine sahiptir (Yılmaz, 2019). Biyogaz üretim süreci incelendiğinde (Şekil 1), üretiminin çeşitli aşamalarında yan ürün elde edildiği gözlenmektedir (Sandor vd., 2020). Namlı, Akça ve Çelik (2020) tarafından yapılan bir araştırmada, biyogaz fermente atıklarının tarım alanlarında kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

Biyogaz üretiminde gıda atıkları, bitkisel atıklar, hayvansal atıklar, evsel atıklar ve kanalizasyon atıkları gibi birçok atık kullanılmaktadır (Sethi, 2018). Biyogaz tesislerinin oluşturulması ve biyogaz üretiminin yapılması, hem çevre sorunlarına çözüm olurken, hem de bu üretimi yapan insanların gelirlerini arttıracığı için doğal olarak yaşam standartlarının önemli ölçüde iyileşmesine de katkı sağlayacaktır. Ayrıca gübre fiyatlarındaki artış, tarım ile geçimini sağlayan insanların bir darboğaza girmelerine sebep olmuştur. Biyogazın bir çıktısı olan gübre, tarımda toprağın verimliliğine de katkı sağlamaktadır (The Chronicle, 2021). Bu nedenle enerji sektöründe dışa bağımlılığı azaltmak, hayvansal atıkların çevreye zarar vermeden değerlendirilmesini sağlamak için ülke içerisinde biyogaz potansiyelinin olduğu yerlerin belirlenmesi, biyogaz üretimi konusunda yatırım yapacak girişimcilere yol gösterecektir (Aksu, 2019).



Şekil 1. Biyogaz Üretim Tesisi (Biogas Production Plant)

Biyogaz üretiminde en temel hammadde büyükbaş hayvan gübresi olup, bu konuda yapılan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları Tablo 1’de özetlenmiştir. Tablo 1 incelendiğinde; farklı bölgeler ve şehirler temelinde biyogaz üretim potansiyellerinin incelendiği, bu potansiyelin bölge ve ülke ekonomisine katkısının değerlendirildiği görülmektedir.

Tablo 1. Biyogaz Üzerine Yapılan Çalışmalar (Studies on Biogas)

Yazarlar / Yıl	Araştırma Amacı	Veri Toplama Tekniği	Örneklem	Analiz Teknikleri	Bulgu
Gümüşçü ve Uyanık (2010)	Güneydoğu Anadolu Bölgesinde büyükbaş hayvancılık ile üretim sağlayan tesislerde ortaya çıkan atıklardan biyogaz ve biyogübre elde edilmesinin bölge ve ülke ekonomisine katkısı araştırılmıştır.	İkincil veriler kullanılmıştır.	Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan büyükbaş hayvan ile üretim gerçekleştirilen tesisler.	Biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama diyagramı kullanılmıştır.	Bu çalışmada 1000 ve üzeri büyükbaş hayvan kapasitesine sahip tesislerin yatırımlarının amorti etme süresinin yaklaşık 5 yıl olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 1500 büyükbaş hayvandan yılda ortalama 6 124 000 m ³ biyogaz elde edilmektedir. Hayvan sayısı ortalama 100 000 olduğunda ise yılda 40 824 000 m ³ biyogaz üretilmektedir.
Öçal (2013)	Eskişehir ilindeki biyogaz enerji potansiyeli araştırılmıştır.	Eskişehir Tarım İl Müdürlüğünden veriler alınmıştır.	Eskişehir ilindeki büyükbaş hayvanlar	Biyogaz enerji eşdeğer hesaplama diyagramı kullanılmıştır.	Eskişehir ilindeki büyükbaş hayvanların gübreleri ile biyogaz üretimiyle günlük 276 454,23 kWh enerji üretimi olduğu bulunmuştur.
Şenol vd. (2017)	Biyogaz üretimi için Ankara'nın başlıca organik atık kaynaklarının belirlenmesidir.	TÜİK verileri kullanılmıştır.	Ankara ilinin hayvansal atıkları, mutfak atıkları, atık su arıtma tesisi ve tarımsal atıkları	Biyogaz enerji eşdeğer hesaplama diyagramı kullanılmıştır.	Ankara ilinde hayvansal atıklar ile günlük 277 384 m ³ , atık su arıtma çamuru ile günlük 515 220 m ³ , tarımsal atıklar ile 38 493 m ³ , mutfak atıkları ile 160 380 m ³ biyogaz üretim potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Bu değer 1 397 930 TL'ye karşılık geldiği vurgulanmış ve Ankara ilinin günlük enerji tüketiminin 211 496 MWh olduğu ve hesaplamaların sonucunda elde edilen günlük elektrik miktarının 4 657 MWh olduğu belirtilmiştir. Bu değer ise, Ankara ilinin günlük enerji tüketiminin %2,20'sine karşılık gelmektedir.
Aksu (2019)	Amasya ilindeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.	TÜİK verileri kullanılmıştır.	Amasya ili ve ilçelerindeki toplam hayvansal atık miktarı	Biyogaz enerji eşdeğer hesaplama diyagramı kullanılmıştır.	Amasya ilinin hayvansal atık potansiyelinden 2018 yılı verileri baz alınarak elde edilebilecek toplam elektrik enerjisi miktarı 90 474 MWh/yıl olarak hesaplanmıştır.
Ergişi (2019)	Türkiye'de hayvansal kaynaklı biyogaz potansiyelinin hesaplanması ve tesis yerinin çok kriterli karar verme yöntemleri ile belirlenmesi amaçlanmıştır.	TÜİK'ten veriler alınmıştır.	Türkiye genelindeki 81 ile göre büyükbaş, küçükbaş ve tavuk gübreleri.	TOPSIS, AHS, PROMETHEE ve VIKOR yöntemleri kullanılmıştır.	Türkiye'de hayvansal gübre kaynaklı biyogaz enerji potansiyeli en yüksek illerin Diyarbakır, Şanlıurfa, Erzurum, Kars, Ağrı ve Van olduğu sonucuna varılmıştır.
Yağlı ve Koç (2019)	Adana İli için biyogaz üretimi ve üretilen bu biyogazın kullanımı ile elde edilebilecek güç miktarının	2015-2018 yıllarına ait TÜİK verileri	Adana ilinde bulunan tüm hayvan sayıları (kanatlı, büyük ve küçük baş)	Biyogaz enerji eşdeğer hesaplama diyagramı kullanılmıştır.	Hayvanlardan elde edilen gübrenin oksijensiz ortamda çürütülmesi ile yıllık ortalama biyogaz üretimi 88.367,417 m ³ -CH ₄ /yıl olarak bulunmuştur. Bu biyogazın kullanımı ile yıllık yaklaşık

	belirlenmesi amaçlanmıştır.				309,286 MWhe/yıl elektrik enerjisi üretimi yapılabileceği bulgusuna ulaşılmıştır.
Ay (2020)	Kahramanmaraş ilinin biyogaz potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır	İl Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü verileri kullanılmıştır.	Kahramanmaraş ilindeki hayvansal (büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan) atıklar	Literatürde yer alan 5 farklı biyogaz eşdeğer hesaplama yöntemi kullanılarak belirlenmiş, her birinin sonuçları mukayese edilmiştir.	Kahramanmaraş ili için hayvansal atıklar kullanarak üretilebilecek teorik biyogaz potansiyeli ve elektrik enerjisi üretimi 37,5 milyon m ³ ile 137,2 milyon m ³ arasında değiştiği belirlenmiştir. Biyogaz potansiyeli ile yıllık elde edilebilir elektrik enerjisi 94,8 GWh ile 264,8 GWh aralığında hesaplanmıştır.
Saz (2021)	Muğla ilinin biyogaz potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.	Muğla Tarım ve Orman İl Müdürlüğü, Muğla Büyükşehir Belediyesi, Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı ve Muğla Su ve Kanalizasyon İdaresi'nden verileri kullanılmıştır.	Muğla iline ait bitkisel, hayvansal ve evsel arıtma çamuru atıkları baz alınmıştır.	Biyogaz enerji eşdeğer hesaplama diyagramı kullanılmıştır.	Muğla ili genelinde toplamda 5598874,15 GJ enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Bu değer 1555242819,54 kWh elektriğe eşdeğer olmakla birlikte 512271 hanenin bir yıllık enerji ihtiyacını karşılayabilmektedir.
Tırnak, S. (2022)	Iğdır ili ve ilçelerindeki hayvan işletmelerinden kaynaklanan atık miktarlarından biyogaz enerji potansiyellerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.	TÜİK, 2020 yılı verileri kullanılmıştır.	Iğdır ili ve ilçelerinin hayvansal atıkları	Biyogaz enerji eşdeğer hesaplama diyagramı kullanılmıştır	Yıllık üretilebilecek biyogaz potansiyeli 43 952 304 m ³ , ısı enerjisi miktarı 1 032 879 GJ ve elektrik enerjisi miktarı 114 716 MWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık en yüksek elektrik üretim potansiyeline sahip olduğu Merkez ilçesinde 55 367 MWh ve en düşük elektrik üretim potansiyeline sahip olduğu Karakoyunlu ilçesinde 15 366 MWh elektrik enerjisi üretilebileceği bulgusuna ulaşılmıştır. Ayrıca biyogaz enerjisinin kullanılması ile yıllık 78 465 ton karbondioksit emisyon salınımı engelleneceği belirlenmiştir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Aksaray ili ve ilçelerindeki (Merkez, Eski, Ağaören, Sarıyahşi, Sultanhanı, Ortaköy, Gülağaç, Güzelyurt) hayvansal üretim miktarlarına ilişkin veriler, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı ve Türkiye İstatistik Kurumundan alınmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre 2020 yılı itibarıyla, Türkiye’de bulunan toplam büyükbaş hayvan sayısı 18 milyon 615 bindir (TÜİK, 2021a). Türkiye’nin bölgeleri açısından genel bir değerlendirme yapılacak olursa, ahır hayvancılığının en çok yapıldığı bölgeler, Marmara ve Ege iken, mera hayvancılığının en yoğun yapıldığı bölgeler ise; İç Anadolu ve Doğu Anadolu’dur (Milliyet, 2021). Karadeniz illerinde genel olarak hayvan sayısının az olduğu söylenebilir (Ordu Ticaret Borsası, 2020). Ülkemizde büyükbaş hayvan sayısı 2002 yılında toplam 9.924.575’ken, 2021 yılında bu sayı 18.036.117’dir. Büyük baş hayvancılığının en çok yapıldığı ilk üç il sırasıyla, Konya, Erzurum ve İzmir’ken, en az ise Rize, Yalova ve Kilis’te gerçekleştirilmektedir (Veri Bankası, 2021). Küçükbaş hayvan sayısı ise, 2002 yılında 31.953.800’ken, bu sayı 2021 yılında 57.519.204’tür (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022). Küçükbaş hayvancılığının en çok yapıldığı ilk üç il sırasıyla, Van, Konya ve Şanlıurfa’yken, en az yapıldığı iller, Rize, Düzce ve Bartın’dır (Veri Bankası, 2021). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı’ndan alınan verilere göre; Aksaray’daki büyükbaş hayvan sayısı 345 809’dur (Tablo 2). Türkiye’deki büyükbaş hayvanların %1,92’si Aksaray ilinde yetiştirilmektedir.

Tablo 2. Aksaray İli Büyükbaş Hayvan Sayısının İlçelere Göre Dağılımı (Distribution of the Number of Cattle in Aksaray according to Counties)

İl	İlçe Adı	Sığır Sayısı	Manda Sayısı	Büyükbaş Toplam
A	Ağaçören	6 354	27	6 381
K	Eskil	90 502	0	90 502
S	Gülağaç	10 453	1	10 454
A	Güzelyurt	8 868	0	8 868
R	Merkez	183 669	1 266	184 935
A	Ortaköy	21 774	0	21 774
Y	Sarıyahşi	2 435	5	2 440
	Sultanhanı	20 450	5	20 455
	Toplam	344 505	1304	345 809

Literatürdeki istatistiksel değerler kullanılarak çeşitli hesaplamalar yapılmıştır. Bunlar; i) Büyükbaş hayvanlardan 5,47 ton/yıl yaş gübre elde edilmesi (Öçal, 2013), ii) hayvan gübresinin kullanılabilirlik oranının %50 kabul edilmiş olup kuru madde oranının ise %15 olarak kabul edilmesi (Öztürk, 2019), iii) 1 ton büyükbaş hayvan atığından 33 m³ biyogaz elde edilmesi (Ergişi, 2019), iv) 1 m³ biyogazdan 4,7 kWh elektrik enerjisi elde edilmesidir (Öçal, 2013).

Bu durumda büyükbaş hayvan başına elde edilecek gübre miktarı (BHBGM) belirlenirken;

$$BHBGM = \text{Toplam büyükbaş sayısı} \times \text{Bir büyükbaş hayvandan elde edilen gübre (ton/yıl)} \quad (1)$$

Üretilen biyogaz miktarı (ÜBGM) belirlenirken;

$$ÜBGM = BHBGM \text{ (ton/yıl)} \times \text{Tonbaşına büyükbaş hayvan atığından elde edilen biyogaz (ton/yıl)} \quad (2)$$

Bu durumda biyogazı elektrik enerjisine dönüştürme (BGEED) eşitliği;

$$BGEED = ÜBGM \times \text{Bir metreküp biyogazdan elde edilen elektrik enerjisi} \quad (3)$$

Kalori değeri içindeki bileşenlere bağlı olarak 1 m³ biyogazın 5500-6000 kcal enerjiye sahip olduğu belirlenmiştir (Yılmaz vd., 2018). Biyogazın diğer yakıtlar ile karşılaştırıldığında 1 m³ Biyogaz; 4,70 kWh elektrik, 3,47 kg odun, 1,18 m³ doğalgaz, 0,70 L benzin, 0,65 L motorin, 1,46 kg kömür değerindedir (Gümüüşçü ve Uyanık, 2010).

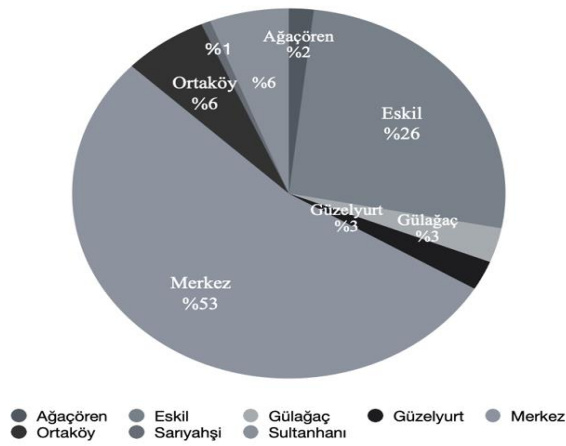
4. Bulgular (Findings)

Aksaray iline ve ilçelerine ait büyükbaş hayvan sayısı, bu hayvanlardan elde edilecek gübre ve elde edilecek biyogaz miktarı Tablo 3'te gösterilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde, en fazla büyükbaş hayvan sayısının bulunduğu ilçe, Merkez ilçedir ve dolayısıyla en büyük biyogaz potansiyelinin olduğu ilçedir. Merkez ilçeyi sırasıyla; Eskil, Ortaköy ve Sultanhanı takip etmektedir (Şekil 2). İl bazında değerlendirildiğinde, yıllık toplam elde edilebilir gübre miktarı $(345\,809 \times 5.47) = 1\,891\,575$ ton/yıldır. Üretilen biyogaz miktarı ise; $(1\,891\,575.23 \times 33) = 62\,421\,982.59 \cong 62\,421\,983$ m³/yıldır. Büyükbaş hayvan gübresi kullanılarak üretilen biyogazın ısı değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

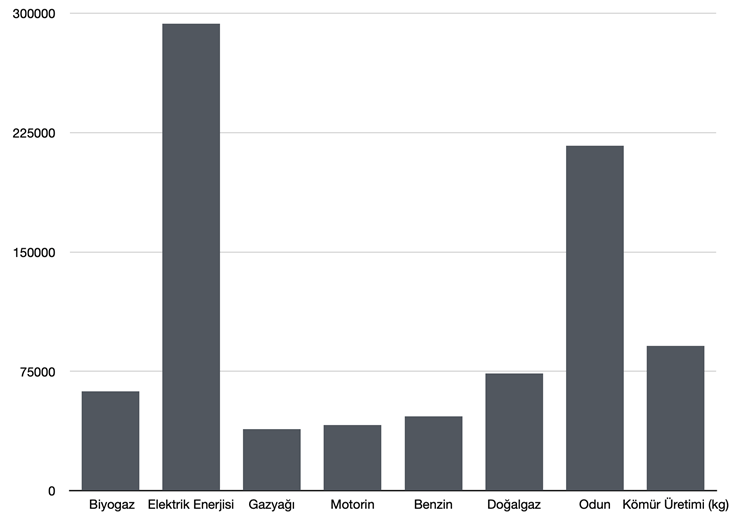
Tablo 3. Büyükbaş Hayvan Gübresinden Elde Edilecek Biyogaz Miktarı (Amount of Biogas to be Obtained from Cattle Manure)

İlçe Adı	Büyükbaş Hayvan Sayısı	Elde Edilecek Yaş Gübre (ton/yıl)	Elde edilecek Biyogaz Miktarı (m ³)
Ağaçören	6 381	34 904,07	1 151 834,31
Eskil	90 502	495 045,94	16 336 516,02
Gülağaç	10 454	57 183,38	1 887 051,54
Güzelyurt	8 868	48 507,96	1 600 762,68
Merkez	184 935	1 011 594,45	33 382 616,85
Ortaköy	21 774	119 103,78	3 930 424,74
Sarıyahşi	2 440	13 346,80	440 444,40
Sultanhanı	20 455	111 888,85	3 692 332,05
Toplam	345 809	1 891 575,23	62 421 982,59

Elde edilecek Biyogaz Miktarı (m³)



Şekil 2. Büyükbaş Hayvan Gübresinden Elde Edilecek Biyogaz (Biogas to be Obtained from Cattle Manure)



Şekil 3. Büyükbaş Hayvancılıktan Elde Edilecek Biyogaz Isıl Değerler (Biogas Heating Value to be Obtained from Cattle)

Tablo 4. Büyükbaş Hayvancılıktan Elde Edilecek Biyogaz Isıl Değerleri (Table 4. Heating Values of Biogas to be Obtained from Cattle)

İlçe Adı	Üretilen Biyogaz m ³ /yıl	Elektrik Enerjisi Üretimi (kWh)	Gazyağı Üretimi (L)	Motorin Üretimi (L)	Benzin Üretimi (L)	Doğalgaz Üretimi (m ³)	Odun Üretimi (kg)	Kömür Üretimi (kg)
Ağaçören	1 151 834,31	5 413 621,26	714 137,27	760 210,65	863 875,73	1 359 164,49	3 996 865,06	1 681 678,09
Eskil	16 336 516,02	76 781 625,29	10 128 639,93	10 782 100,57	12 252 387,02	19 277 088,90	56 687 710,59	23 851 313,39
Gülağaç	1 887 051,54	8 869 142,24	1 169 971,96	1 245 454,02	1 415 288,66	2 226 720,82	6 548 068,84	2 755 095,25
Güzelyurt	1 600 762,68	7 523 584,60	992 472,86	1 056 503,37	1 200 572,01	1 888 899,96	5 554 646,50	2 337 113,51
Merkez	33 382 616,85	156 898 299,20	20 697 222,45	22 032 527,12	25 036 962,64	39 391 487,88	115 837 680,47	48 738 620,60
Ortaköy	3 930 424,74	18 472 996,28	2 436 863,34	2 594 080,33	2 947 818,65	4 637 901,19	13 638 573,85	5 738 420,12
Sarıyahşi	440 444,40	2 070 088,68	273 075,53	290 693,30	330 333,30	519 724,39	1 528 342,07	643 048,82
Sultanhanı	3 692 332,05	17 353 960,64	2289 245,87	2 436 939,15	2 769 249,04	4 356 951,82	12 812 392,21	5 390 804,79
Toplam	62 421 982,59	293 383 318,19	38 701 629,21	41 198 508,51	46 816 486,96	73 657 939,45	216 604 279,59	91 136 094,57

Tablo 4 incelendiğinde büyükbaş hayvan atıklarından üretilecek biyogazın ısıl değerleri, elektrik, gazyağı, motorin, benzin, doğalgaz, odun ve kömür açısından değerlendirilmiştir. Üretilecek biyogazın en fazla, elektrik enerjisi açısından ısıl değerinin olduğu görülmektedir. En az ısıl değer ise, gazyağındadır.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Günümüzde bütün enerji kaynaklarının ticari bir boyutu bulunmaktadır. Enerji üretimi düşük ülkeler dışı bağımlı hale gelmektedir. Bu nedenle enerji kaynaklarının kullanımında karşılaşılabilecek sorunların tahmin edilmesi ve teknolojik gereksinimlerin planlanması bütün ülkelerin refah düzeyi için oldukça önemlidir. Mevcut enerji kaynakları tüketiminde ABD, AB ülkeleri, Çin ve Rusya gibi ülkeler ilk sıradadır (Akbulut, 2008; International Energy Agency [IEA], 2018). Dünya çapında en çok kullanılan enerji türü doğalgazdır. Özellikle ABD tarafından önemli miktarda doğalgaz tüketimi mevcuttur. En çok kullanılan enerji türünün ikinci sırasında ise yenilenebilir enerji kaynakları vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının petrol ve kömür gibi yenilenemez enerji kaynakları tüketiminden fazla olması sürdürülebilir geleceği inşa etmek açısından oldukça önem taşımaktadır.

Günümüzde dünyada tüketilen enerjinin yalnızca %18,1'i yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilmektedir (Ergişi, 2019, 12). Kullanılan fosil yakıtlar başta olmak üzere pek çok sonu düşünülmemen tüketim alışkanlığı sonucu atmosferdeki CO₂ miktarının 2018 yılı itibarıyla 406 ppm seviyesinin üzerine çıktığı belirlenmiştir. Araştırmalara göre canlıların güvende olabileceği en yüksek sınırın 340 ppm (parts per million/milyonda bir) parçacık olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Demirsoy, 2019). Atmosferdeki CO₂ miktarının sanayi devriminden sonra önüne geçilemeyen artışı sonucu meydana gelen karbonik asit nedeniyle toprak florası bozulmaya ve denizler bir miktar asidik olmaya başlamıştır. Asit bir yandan iskelet yapısında bulunan karbon iyonlarını azaltırken, pH seviyesindeki virgülden sonraki küçük oynamalar (logaritmik olması nedeniyle) insan hayatında büyük değişikliklere neden olmaktadır. Ayrıca çeşitli canlıların yapısının bozulmasına, hastalıklara, elverişsiz tarıma ve daha birçok problemlere yol açmaktadır. Bu noktada her bir bireyin karbon ayak izini düşürmeye özen göstermesi gerekmektedir. İnsanın yaşam kalitesi için yenilenebilir enerji kullanımı bir tercihten ziyade zorunluluk haline gelmiştir (Demirsoy, 2019; Demir ve Elmalı, 2020). Özellikle ülkelerin nüfusundaki dalgalanma, enerji talebindeki artışa neden olmaktadır (Jiankun, 2021). Günümüzde küresel enerji talebi %80 oranında fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. 2035 yılına kadar fosil yakıt kullanımının devam edeceği, 2035 yılından sonra ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artacağı belirtilmektedir (IEA, 2018). Şimdilik enerji tüketimindeki artış, yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanabilecek durumda değildir (Jiankun, 2021). Ülkelerin gerekli önlemleri almaları, daha çevreci politikalar benimseyip ekonomiye destek olması gereklidir. Örneğin, Çin, 2060'dan önce karbonun nötr olmasını taahhüt ederek, içinde bulunulan yüzyıldaki küresel sıcaklık artışını, sanayi devrimi öncesi döneme kıyasla 2°C'nin olabildiğince altında tutmayı hedefleyen Paris Anlaşması kapsamındaki 2065-2070 Küresel Karbon Nötrlüğü Programı'nın hedefini geçmeyi planlamaktadır. Çin yeniliğe dayalı, eşgüdümlü, çevreci ve küresel ilerlemeye yönelik herkese fayda sağlayacak bir kalkınma projesi kapsamında; orman alanlarının artırılması, plastik kirliliğin azaltılması, ulaşımın yassı batarya teknolojili elektrikli araçlar veya paylaşımlı bisikletler ile sağlanması, enerji üretiminin yenilenebilir enerji kaynakları ile gerçekleşmesini sağlayarak düşük karbonlu kalkınma trendinde liderlik rolü üstlenmektedir. Çin'in kararlılığı ve eylemleri dünyanın karbon nötr olma tarihini 5-10 yıl öne çekmektedir (Jiankun, 2021). Yapılan çalışmalar incelendiğinde dünya enerji talebinin karşılanmasında, ülkelerin alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yaptığı görülmektedir (Ergişi, 2019:12). Yenilenebilir enerji üretimi ciddi oranda yükseliş göstermekle birlikte bu artış dünya çapındaki enerji ihtiyacını karşılayacak seviyede değildir (IEA, 2021). Dolayısıyla iklim değişikliği ile mücadele ederken, yenilenebilir enerji alanında yapılan çalışmaları geliştirmek oldukça büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada Aksaray ili, büyükbaş hayvan atık kaynaklı biyogaz üretme potansiyeli belirlenerek, üretilecek biyogaz miktarının ısıl değerleri ortaya çıkarılmıştır. Ülkemizde yetiştirilen büyükbaş hayvanların yaklaşık %2'si Aksaray'da yetiştirilmektedir. Aksaray halkının %70'i ise geçimini tarım ve hayvancılıkla gerçekleştirmektedir. Bu oranlar dikkate alındığında, Aksaray İl'indeki büyükbaş hayvan gübresi ile elde edilecek biyogaz miktarı 62 421 983 m³/yıl'dır. Büyükbaş hayvan gübresinden elde edilecek biyogazın ısıl değerleri ise; 293 383 318 kWh elektrik enerjisi, 38 701 629 L gazyağı, 41 198 509 L motorin, 46 816 487 L benzin, 73 657 940 m³ doğalgaz, 216 604 280 kg odun ve 91 136 095 kg kömürdür.

Çalışma, bazı sınırlılıklar altında gerçekleştirilmiştir. İlki, çalışmanın Aksaray ili ve ilçelerini içermesidir. Gelecekte yapılacak olan çalışmalar, farklı iller temelinde konuyu araştırabilir. Araştırmada, biyogaz potansiyeli incelenmiş olup, bu potansiyel büyük baş hayvansal atıklarla sınırlandırılmıştır. Gelecek çalışmalar, farklı boyutlardan (üretim sırasında karşılaşılan teknik sorunlar, personel istihdamı, makine aksanları) biyogaz kavramını inceleyebilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Akbulut, G. 2008. Küresel Değişimler Bağlamında Dünya Enerji Kaynakları, Sorunlar ve Türkiye. C.Ü. Sosyal Bilimler Dergisi, 32(1), 117-137. <http://eskidergi.cumhuriyet.edu.tr/makale/1688.pdf> Erişim tarihi; 22.09.2020
- Aksaray Belediyesi, Coğrafi Özellikleri. 14.07.2021 tarihinde <http://aksaray.bel.tr/cografi-ozellikleri-121> sayfasından erişilmiştir.
- Aksaray İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. 04.02.2021 tarihinde <https://aksaray.ktb.gov.tr> sayfasından erişilmiştir.
- Aksu, Y. 2019. Amasya İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat. Yüksek Lisans Tezi.
- Appels, L., Lauwers, J., Degreve, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K., Impe, JW., Dewil, R. 2011. Anaerobic Digestion in Global Bioenergy Production: Potential and Research Challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4295-4301. 01.05.2020 tarihinde www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111003686?casa_token=1zSs9BRPjwkAAAAA:ow0Sopr6QV68usp0xb12D7zlfC_dig1Go8v1alTDyonG00CY2XdhZPKS42r9fHLnRYCljukopA sayfasından erişilmiştir.
- Ay, Ö.F. 2020. Kahramanmaraş İlinin Teorik Biyogaz Potansiyelinin Farklı Modellerle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- BiyogazDer. Dünyada Biyogaz. 16.10.2021 tarihinde <https://biyogazder.org/biyogaz-enerjisi> adresinden erişilmiştir.
- Demir, İ., Elmalı, M., (2020). Organik Atıkların Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(4), 1303-1311.
- Demirsoy, A. 2019. 2035 Sonun Başlangıcı, Asikitap, Ankara.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 12.08.2021 tarihinde <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları> sayfasından erişilmiştir.
- Environmental Impact Assessment, What is Energy?. 08.04.2021 tarihinde www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy sayfasından erişilmiştir.
- Ergişi, B. 2019. Türkiye'de Hayvansal Atıklardan Biyogaz Potansiyelinin Hesaplanması ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Kullanılarak Tesis Yerinin Belirlenmesi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale.
- Euverink, G. ve Achinas, S. 2019. Rambling Facets of Manure Based Biogas Production in Europe: A Briefing. Engineering and Technology Institute Groningen, Faculty of Science and Engineering, University of Groningen, Netherlands.
- Gümüşçü, M. ve Uyanık, S. 2010. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Hayvansal Atıklardan Biyogaz ve Biyogübre Elde Edilmesi, Makine Mühendisleri Odası, 9(27), 59-65.
- Gürdalı F. 2009. Avrupa Birliği Dış Politikasında Enerji Faktörü. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Gürel, B. 2020. Türkiye'deki Güncel Biyokütle Potansiyelinin Belirlenmesi ve Yakılmasıyla Enerji Üretimi İyi Bir Alternatif Olan Biyokütle Atıklar İçin Sektörel Açından ve Toplam Yanma Enerji Değerlerinin Hesaplanması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 407-416.
- International Energy Agency (IEA), Global Energy Review 2021. 03.10.2021 tarihinde <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/renewables> adresinden erişilmiştir.
- International Energy Agency (IEA), World energy outlook 2018. 19.03.2020 tarihinde <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018> adresinden erişilmiştir.
- İşgör, Y.G. Genel Üniversite Kimyası: Termodinamik Temel Konular. 10.06.2021 tarihinde https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/103287/mod_resource/content/1/Temel%20termodinamik%20ve%20termokimya-biyoenerjige%20giris.pdf adresinden erişilmiştir.
- Jiankun, H. 2021. Düşük Karbon Dönüşümüne Giden Yol, China Today, 51(1), 16-19.
- Kadam, A. A. 2021. Generation of Biogas and Its Utilization as a Source of Energy, International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science, 03(01).
- Kaplan, G., Çoban, V. ve Çağman, S. 2019. Hayvansal Kaynaklı Biyogaz Üretim Tesislerinde Üretilen Gübrenin Değerlendirilme Metotları ve Fizibiliteye Olan Etkisinin İrdelenmesi. Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Kaya, D. ve Öztürk H. 2012. Biyogaz Teknolojisi, Umuttepe Yayınları, Kocaeli.
- Korberg, A.D., Skov, I.R. ve Mathiesen, B.V. The Role of Biogas and Biogas-Derived Fuels in a 100% Renewable Energy System in Denmark. *Energy*, 12.01.2021 tarihinde https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220305338?casa_token=UeoL9MpJZ90AAAAA:MonLnqszL39IZnCcRkv1YP6ajHKJ6qPXPdizUy8qbg68COqvIEw2KqeHry0fg_BFo-tgiBYY adresinden erişilmiştir.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Enerji ve Enerji Kaynakları. 16.06.2021 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=enerjikaynaklari> adresinden erişilmiştir.
- Milliyet, 2021. Türkiye Büyükbaş Hayvancılık Haritası: Büyükbaş Hayvancılık Nedir? En Çok Hangi Bölgede Yapılır? 05.05.2022 tarihinde <https://www.milliyet.com.tr/egitim/haritalar/turkiye-buyukbas-hayvancilik-haritasi-buyukbas-hayvanciligi-nedir-en-cok-hangi-bolgede-yapilir> adresinden erişilmiştir.
- Namlı, A., Akça, M.O., Çelik, Y. 2020. Biyogaz Santrallerinde Çıkan Sıvı Fermente Ürünlerin Tarımsal Kullanım Potansiyelinin Araştırılması Sonuç Raporu, Ankara, Ostim Enerjik.
- Ordu Ticaret Borsası, 2020. Hayvancılık Raporu, 05.05.2022 tarihinde <https://www.ordutb.org.tr/wp-content/uploads/2020/10/Hayvancilik-Raporu.pdf> adresinden erişilmiştir.

- Öçal, F. 2013. Biyogaz Enerjisi Üretimi ve Eskişehir İli için Uygulama, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Öztürk, B. 2019. Aydın İli Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Aydın.
- Öztürk, F., Kuşakçı, A. O., Ayvaz, B., Karakoç Sırakaya, M., 2020. Biyoyakıt Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Çalışmaları İçin Öz Düzenleyici Haritalar, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 345-356.
- Sandor, D., Keyser, D., Mann, M., Engel-Cox, J., Reese, S., Horowitz, K., Lantz, E., Weers, J., Roberts, B., Bunchanan, S., Arent, D., Walker B., Dixon, R. 2020. Clean Energy Manufacturing: Renewable Energy Technology Benchmarks. Accelerating the Transition to a %100 Renewable Energy Era, 74(1), 195-206.
- Saz, S. 2021. Muğla İlinin Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Muğla.
- Sethi, R. 2018. Biogas Production from Organic Waste, Meat and Fog by Anaerobic Digestion and Ultimate Sludge Digestibility, Atlantic University The Collage of Engineering and Computer Science, Master Thesis, Florida.
- Sorgulu, K. 2020. Anaerobik Sistemlerde Biyogaz İçeriğinin Enerji Üretim Sistemlerine Etkisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- The Chronicle, Turning an Environmental Problem into a Solution. 03.10.2021 tarihinde <https://www.chronicle.co.zw/turning-an-environmental-problem-into-a-solution> adresinden erişilmiştir.
- Tırınk, S. 2022. Hayvansal Atıkların Biyogaz Üretim Potansiyelinin Hesaplanması: Iğdır İli Örneği. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(1), 152-163.
- Topaloğlu, B. ve İmren, V. 2005. Samsun İlinde Biyogaz Enerjisi Potansiyeli ve Uygulanabilirliği, Samsun Sempozyumu, 30 Eylül 2005 - Samsun.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Hayvansal Üretim İstatistikleri. 23.06.2021 tarihinde <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Animal-Production-Statistics-December-2020-37207> sayfasından erişilmiştir.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Hayvan Sayısı Raporu. 29.05.2021 tarihinde <https://www.tarimorman.gov.tr> adresinden erişilmiştir.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022. 05.05.2022 tarihinde <https://www.tarimorman.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/HAYGEM.pdf> adresinden erişilmiştir.
- Veri Bankası, 2021. İllere Göre Türkiye’de Hayvancılık: Canlı Hayvan Sayıları. 05.05.2022 tarihinde <https://www.drdatastats.com/illere-gore-turkiyede-hayvancilik-canli-hayvan-sayilari/> adresinden erişilmiştir.
- Yağlı, H. ve Koç, Y. 2019. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Adana İli Örnek Hesaplama. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(3), 35-48.
- Yılmaz, M. 2012. Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi, Ankara Üniversitesi Çevre Bilim Dergisi, 4(2), 33-54.
- Yılmaz, A. 2019. Türkiye’de Biyogaz Üretimi ve Kurulu Santrallerin Ürettiği Elektrik Enerjisi, Ecological Life Sciences, 14(1), 1-28.
- Yılmaz, A., Ünvar, S., Koca, T. ve Koçer, A. 2018. Türkiye’de Biyogaz Üretimi ve Biyogaz Üretimi İstatistik Bilgileri. Enerji ve Çevre Dünyası Dergisi, 143(1), 28-44.
- World Wildlife Fund (WWF), Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği. 20.06.2021 tarihinde https://www.wwf.org.tr/ne_yapiyoruz/iklim_degisikligi_ve_enerji/yenilenebilirnerji_ve_enerjiverimliliği adresinden erişilmiştir.



DETERMINATION OF OPTIMUM FLUID FOR DIFFERENT HEAT SOURCE TEMPERATURES BASED ON MULTI-OBJECTIVE FUNCTIONS IN THE ORGANIC RANKINE CYCLE

Sadık ATA^{1*}, Ali KAHRAMAN², Remzi ŞAHİN³

¹ KTO Karatay University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Mechanical Engineering, Konya, Türkiye

² Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering, Konya, Türkiye

³ KTO Karatay University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Mechanical Engineering, Konya, Türkiye

Keywords

*Genetic Algorithm,
Multi-Objective,
Organic Rankine Cycle,
Optimum Fluid,
Thermodynamic
Optimization.*

Abstract

In this study, the optimum fluid was determined by using Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGA-II) within the scope of Organic Rankine Cycles (ORC) low temperature applications. Heat source temperatures are taken as 90, 100 and 110 °C. Fluid optimization was performed by comparing the performance of 8 fluids from 4 different categories under different criteria (dry-R601 and R601a, isentropic-R141b and R123, wet-R152a and R134a, new generations-R1234yf and R1234ze). Objective functions have been established under the parameters of Energy, Exergy, Economy and Environment (4E). In ORC systems, every organic fluid has certain advantages and disadvantages. It is seen that the studies on organic fluid selection meet a single goal from the system performance parameters. However, it has been observed that the turbine power performance is not at the desired level due to the required evaporator capacity of the fluid, which performs well in terms of thermal efficiency in ORC systems. Therefore, it is necessary to determine the percentage of organic fluid that can be used by optimizing it under different objective functions. In this study, the optimum fluid was determined for ORCs operating under 90, 100 and 110 °C heat source temperatures by evaluating different objective functions together.

ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMİNDE ÇOKLU AMAÇ FONKSİYONLARINA BAĞLI OLARAK OPTİMUM AKIŞKANIN FARKLI ISI KAYNAĞI SICAKLIKLARI İÇİN BELİRLENMESİ

Anahtar Kelimeler

*Genetik Algoritma,
Çok Amaçlı,
Organik Rankine Çevrimi,
Optimum Akışkan,
Termodinamik
Optimizasyon.*

Öz

Bu çalışmada, Organik Rankine Çevrimleri (ORÇ) düşük sıcaklık uygulamaları kapsamında baskılanamayan sıralamalı genetik algoritma-II (NSGA-II) kullanılarak optimum akışkan belirlenmiştir. Isı kaynağı sıcaklıkları 90, 100 ve 110 °C olarak alınmıştır. Akışkan optimizasyonu, 4 farklı kategoriden 8 akışkanın farklı kriterler altında performansları karşılaştırılarak yapılmıştır (kuru-R601 ve R601a, izentropik-R141b ve R123, ıslak-R152a ve R134a, yeni nesil-R1234yf ve R1234ze). Enerji, Ekserji, Ekonomi ve Çevre (4E) parametreleri altında amaç fonksiyonları oluşturulmuştur. ORÇ sistemlerinde her organik akışkanın belirli avantajları ve dezavantajları vardır. Organik akışkan seçimi ile ilgili çalışmaların sistem performans parametrelerinden tek bir amacını karşıladığı görülmektedir. Ancak ORÇ sistemlerinde ısıl verim açısından iyi performans gösteren akışkanın gerekli evaporatör kapasitesinden dolayı türbin güç performansının istenilen seviyede olmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle farklı amaç fonksiyonları altında optimize edilerek kullanılacak organik akışkan yüzdesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada farklı amaç fonksiyonlarının birlikte değerlendirilmesiyle 90, 100 ve 110 °C ısı kaynağı sıcaklıkları altında çalışan ORÇ'ler için optimum akışkan tespit edilmiştir.

* Corresponding author: sadik.ata@karatay.edu.tr, +90-332-444-1251/7329

Alıntı / Cite

Ata, S., Kahraman, A., Şahin, R., (2023). Determination of Optimum Fluid for Different Heat Source Temperatures Based on Multi-Objective Functions in The Organic Rankine Cycle, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(1), 310-323.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Ata, 0000-0002-6791-593X
A. Kahraman, 0000-0002-5598-5017
R. Şahin, 0000-0001-7656-7538

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	17.10.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	06.05.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	02.12.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

DETERMINATION OF OPTIMUM FLUID FOR DIFFERENT HEAT SOURCE TEMPERATURES BASED ON MULTI-OBJECTIVE FUNCTIONS IN THE ORGANIC RANKINE CYCLE

Sadık ATA^{1†}, Ali KAHRAMAN², Remzi ŞAHİN³

¹ KTO Karatay University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Mechanical Engineering, Konya, Türkiye

² Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering, Konya, Türkiye

³ KTO Karatay University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Mechanical Engineering, Konya, Türkiye

Highlights

- The economic performance of the turbine (VFR and SP) was investigated in organic fluid selection.
- Environmental sustainability indices (EES, ESI and WER) of fluids were examined.
- The optimum utilization rate of the fluid was determined with NSGA-II.

Purpose and Scope

The most important factor determining the system performance in the Organic Rankine Cycle (ORC) is the organic fluid. But there is no fluid that is ideal in all aspects. Therefore, the selection of organic fluids should not be made on a single criterion, but by considering multiple criteria. In this study, it is aimed to determine the percentage of use of fluids by using multi-objective optimization technique for different heat source temperatures.

Design/methodology/approach

In this study, the performance of 8 fluids (dry-R601 and R601a, isentropic-R141b and R123, wet-R152a and R134a, new generations-low GWP (R1234yf and R1234ze) were optimized for ORC designed under 90, 100 and 110 °C heat source temperatures. Six different objective functions are defined with thermodynamics (thermal Efficiency, turbine power, exergy destruction and exergy efficiency), turbine economy performance (Volume flow ratio-VFR, size parameter-SP, pressure ratio-PR) and environmental sustainability indices (Environmental effect factor-EEF, Waste Exergy Ratio-WER and Exergy Sustainability Index-ESI). The performance of the fluids was determined by defining the weight function, G(x), which these objective functions affect equally.

Findings

According to NSGA-II results, the best performing fluids in different criteria according to heat source temperatures are as follows.

For 90 °C heat source temperature; R141b for maximum thermal efficiency and exergy efficiency, minimum exergy destruction and EEF; R1234yf for maximum turbine power; R152a for minimum VFR.

For 100 °C heat source temperature; R141b for maximum thermal efficiency, minimum exergy destruction; R1234yf for maximum turbine power and exergy efficiency, minimum EEF; R152a for minimum VFR.

For 110 °C heat source temperature; R1234yf for maximum thermal efficiency, exergy efficiency, turbine power, minimum EEF; R141b for minimum exergy destruction; R152a for minimum VFR.

According to the weight function result, it was determined that 51% of R141b for 90 °C; 65% of R1234yf for 100 °C; 83% of R1234yf for 110 °C could be used as the optimum fluid.

† Corresponding author: sadik.ata@karatay.edu.tr, 444-1251/7329

Originality

Although there are many studies on organic fluid selection, studies that examine performance under different criteria (thermodynamic, environmental sustainability and turbine economy performance), compare different fluid categories, including new-generation, and do this for different heat source temperatures are limited. It has contributed to the literature by examining these points.

1. Introduction

Organic Rankine Cycle (ORC) is a technology that enables the conversion of energy from any thermal source into electrical energy. These thermal resources are; It can consist of solar, geothermal, biomass or waste heat. The biggest difference in naming the system as "Organic" and separating it from the classical Rankine cycle is that an organic fluid is preferred instead of steam-water use in the cycle. The ideal fluid of ORC is generally zero or positive slope "Isentropic" or "Dry Fluid" and they don't require overheating. The classical Rankine cycle requires overheating, so the turbine inlet temperature is higher than the ORC system. For these reasons, the use of organic fluids not only reduces the high heat resistance requirements for the manufacture of turbine blades, but also lowers the cost.

2. Literature Survey

Studies on thermodynamic optimization of ORC are reviewed below. Behzadi et al. (2018) conducted multi-objective optimization and exergo-economic analysis on the ORC integrated power plant in Tehran. Using MATLAB, they used Genetic Algorithm (GA)-based multi-objective optimization technique.

Woodland et al. (2020) have worked on alternative ORC configurations. These are two-phase flash-expanded ORC and zeotropic fluid ORC. Net power maximization has been taken as a function of objective. They stated that the maximum net power was not reached at the point where the highest thermal efficiency was observed, therefore, net power maximization should be examined more important than thermal efficiency maximization. Xi et al. (2015) proposed graphical criterion method for simple and recuperative ORC comparison and appropriate fluid selection. They determined their objective functions as annual cost flow and exergy efficiency with GA.

Andreasen et al. (2015) studied the selection of suitable fluid with the GA method for simple and recuperative ORC designed using binary mixtures fluids. They determined the net power output as the objective function. Yang et al. (2015) conducted a thermodynamic optimization study with GA for ORC designed using R245fa fluid. Evaporation pressure, superheating temperature and condensation temperature were chosen as design parameters.

Xi et al. (2014) used the GA method to select the appropriate fluid in ORC which was designed using zeotropic fluids. They determined the annual cash flow as the objective function. Larsen, Sigthorsson, and Haglind (2014) conducted studies on system optimization with the GA method for ORC designed using R245ca fluid. They determined the net power output as the objective function. Imran et al. (2014) conducted an optimization study by aiming thermal efficiency maximization and unit investment cost minimization with NSGA-II method. Evaporation pressure, superheating temperature and $\Delta T_{PP,e} - \Delta T_{PP,c}$ values were chosen as design parameters.

In this section, the applications of ORC (geothermal, solar, waste heat) found in the literature under different heat sources are evaluated. Coskun et al. (2012) conducted an energy and exergy analysis study for geothermal heat source multigeneration systems. Performance parameters were determined as energy and exergy regeneration rate and re-injection rate. They achieved the highest energy efficiency in the combined system of electricity generation + greenhouse heating. Coskun and Al-Talabani (2017) conducted a thermodynamic analysis study on Aliğa Gas Turbines and Combined Cycle Power Plant with EES software. They determined that the most exergy destruction was in the combustion chamber, heat boiler and condenser units, respectively. They determined that the energy and exergy efficiency values of the power plant with an installed capacity of 180 MW are 32.8% and 43.4%, respectively.

Baral (2019) conducted an ORC hybrid solar-geothermal study for electricity generation in Nepal. They found that there is 17.5 kW production when using R134a, but 22.5 kW production in ORC with R245fa. Altınkaynak and Çelik (2021) conducted exergy analysis studies within the scope of ORC's geothermal applications. Analyzes were made in EES software with N-pentane fluid. They reached 34% exergy efficiency at 80 °C low well temperature.

Hu et al. (2022) studied organic fluid selection within the scope of low temperature geothermal applications of ORC. Considering the net power produced per flow rate of geothermal water, they determined that the most suitable fluid is R245fa. Wang et al. (2013) performed a thermodynamic analysis of regenerative ORC within the scope of solar applications. They used flat plate solar collectors to collect solar radiation because of their low cost.

When other organic fluids were compared, they found that R245fa and R123 were the most suitable fluids for the system due to their high system performance and low operating pressure.

Boyaghchi and Chavoshi (2018) analyzed the ORC-based solar micro-coupled power generation system in terms of exergy, economy and environmental criteria. For the R1234yf and R245fa fluid groups, a significant positive effect was found between 16.71% and 24.34%, respectively, on the thermal and exergy efficiencies in November. Al Jubori et al. (2017) conducted an optimization study for a small-scale axial turbine for a low-temperature heat source such as solar applications of ORC. They achieved the best performance values (10.5% thermal efficiency, 73.3% exergy efficiency, 6.3 kW maximum power) with R123 fluid.

Shu et al. (2014) investigated the performance of alkanes within the scope of waste heat applications of ORC. They obtained the highest power output with cyclohexane fluid. Considering the criteria such as low irreversibility and high power, they determined that the most suitable fluids are cyclohexane and cyclopentane. Kölsch and Radulovic (2015) studied the use of methanol, toluene and solkatherm SES 36 organic fluids in the ORC of diesel engine waste heat. The best thermal performance was achieved with methanol and the highest power output with toluene. Considering the heat transfer area, they suggested the use of methanol fluid. On the other hand, Khatita et al. (2015) studied power generation using waste heat recovery with ORC in the oil and gas sector in Egypt. They used the Aspen HYSYS v7.1 simulation model. Considering the thermodynamic and economic criteria together, they determined that the most suitable fluid was benzene.

In the experimental studies on the Organic Rankine Cycle, R134a or R245fa was generally used as the organic fluid. However, in recent studies, it has been seen that it is used in experimental studies in different organic fluids. Eyerer et al. (2019) compared the experimental performance of R1224yd(Z) and R1233zd(E) with R245fa. They found that a higher thermal performance was achieved with R1233zd(E). They stated that both fluids can replace R245fa in terms of low GWP value. Blondel et al. (2019) determined the performance of pure and zeotropic fluids in ORC by conducting an experimental study. Pure NovecTM649 and 80% NovecTM649-20% HFE7000 zeotropic fluids were used. 10% higher thermal efficiency value was determined in the zeotropic mixture. They emphasized that these fluids are potential candidates to replace traditionally used fluids such as R134a and R245fa due to their zero ODP and low GWP values.

Within the scope of the literature research, air-cooled and water-cooled condensers are examined in this section. Walraven et al. (2015) compared the performance of air- or water-cooled condensers in geothermal heat source applications of ORC. They found that it is economically better to use mechanical draft wet cooling towers instead of air-cooled condensers. They stated that the difference in performance was seen especially for brine inlet temperature. They found that the investment cost of water-cooled condensers is also lower. Zhao et al. (2017) compared cooling methods for heat recovery in ORC. The simulation results showed that the water-cooling method is more suitable for the vehicle ORC system than the air-cooling method. They found that water-cooled ORC has greater power output and higher thermal efficiency.

In the section below, the differences of the number of objective functions in optimization with GA are examined. In some studies, the objective function was determined through a single parameter in GA optimization. The objective functions; by determining the ratio of heat transfer area to the total net power output (Bian, Wu, and Yang 2014), total exergy efficiency (Long et al. 2014), gross annual profit (Gutiérrez-Arriaga et al. 2015), total irreversibility loss (Han, Yu, and Ye 2013), thermal efficiency (Pierobon et al. 2013), second law efficiency (Agromayor and Nord 2017), net power worked with GA on both optimum fluid selection and thermodynamic optimization of the system (Andreasen et al. 2014)(Fiaschi et al. 2014)(Kai et al. 2015). The studies in which multiple parameters are determined as the objective function are also summarized below. The multiple objective functions; by determining total exergy efficiency and product cost rate (Nazari, Heidarnejad, and Porkhial 2016), net power, volumetric flow rate and turbine efficiency (Donateo and Fazio 2014), thermal efficiency, exergy efficiency, payback period and annual emission reduction (Wang et al. 2016), exergy efficiency and total cost rate of the system (Khaljani, Khoshbakhti Saray, and Bahlouli 2015), thermal efficiency, exergy efficiency, total heat transfer area and total product cost (Boyaghchi, Chavoshi, and Sabeti 2015), exergy efficiency and total cost rate of the system (Javan et al. 2016), net power and investment cost worked with GA on both optimum fluid selection and multi-objective optimization of the system (Huster, Schweidtmann, and Mitsos 2020).

In this study,

- ORC optimization and optimum fluid selection were made using NSGA-II. Objective functions are specified by evaluating four different factors: Energy (thermal efficiency, turbine power), Exergy (exergy efficiency, total irreversibility), Economic (turbine performance-Volume Flow Ratio) and Environment (Thermodynamic Sustainability Indices).

- In Orc systems, the thermal efficiency and turbine power of fluids may be differences in maximization points. Therefore, these two parameters are discussed separately.
- No study has been found in which thermodynamic sustainability indices (WER, ESI and EEF) are considered as an objective function in NSGA-II. In this study, by determining EEF minimization as the objective function, environmental performance also played a role in determining the optimum fluid.
- The performance of fluids in different categories is compared. In the design, dry (R601 and R601a), isentropic (R141b and R123), wet (R152a and R134a) and new-generation (R1234ze and R1234yf) are used as organic fluids.
- Fluids performed differently under each objective function. Therefore, the weight function was created by evaluating the performance increase of the fluids under the objective functions and then optimum fluids are determined for different heat source temperatures.

3. Material and Method

3.1. Thermodynamic Analysis

Table 1 summarizes the thermophysical and safety-environmental properties of fluids (Calm and Hourahan 2007). Engineering Equation Solver (EES) software has been used for thermodynamic analysis and modeling of ORC. The equations used are given in Table 2

Table 1. Thermophysical and safety-environmental properties of fluids

Fluids/ Properties	R601	R601a	R141b	R123	R152a	R134a	R1234yf	R1234ze
Type	Dry		Isentropic		Wet		New-Generations	
Molecular mass (g/mol)	72.15	72.15	116.95	152.93	66.05	102	114.04	114.04
Normal Boiling Points (°C)	36.1	27.8	32	27.8	-24	-26.1	-29.3	-18.8
Critical Temperature (°C)	196.6	187.2	204.4	183.7	113.3	101.1	94.85	109.52
Critical Pressure (MPa)	3.37	3.38	4.21	3.66	4.52	4.06	3.38	3.63
ASHRAE 34 safety group	A3	A3	n.a	B1	A2	A1	*A2L	*A2L
ODP	0	0	0.12	0	0	0	0	0
GWP	20	20	725	77	124	1430	4	6

*A2L; low toxicity and mildly flammable

Table 2. ORC Thermodynamic Analysis Equations

Components	Energy Analysis	Exergy Analysis
Pump	Pump Work (kJ/kg) $w_p = (h_2 - h_1) = (h_{2s} - h_1)/\eta_p$	Pump Irreversibility (kJ/kg) $i_p = T_0(s_2 - s_1)$
Evaporator	Evaporator Duty (kJ/kg) $q_e = (h_3 - h_2)$	Evaporator Irreversibility (kJ/kg) $i_e = T_0[(s_3 - s_2) - (h_3 - h_2)/T_h]$
Turbine	Turbine Work (kJ/kg) $w_t = (h_3 - h_4) = (h_3 - h_{4s})\eta_t$	Turbine Irreversibility (kJ/kg) $i_t = T_0(s_4 - s_3)$
Condenser	Condenser Duty (kJ/kg) $q_c = (h_4 - h_1)$	Condenser Irreversibility (kJ/kg) $i_c = T_0[(s_1 - s_4) + (h_4 - h_1)/T_c]$
System	Net Work (kJ/kg) $w_{net} = w_t - w_p$	Total Irreversibility (kJ/kg) $i_{total} = i_p + i_e + i_t + i_c$
	Thermal Efficiency $\eta_{th} = w_{net}/q_e$	Exergy Expended (kJ/kg) $e_{expended} = [1 - T_0/T_h]q_e + w_p$
		Exergy Efficiency $\eta_{II} = 1 - i_{total}/e_{expended}$

η_t and η_p ; isentropic efficiencies of turbine and pump

$T_{h,i}$ and $T_{h,o}$ heat source input-output; $T_{c,i}$ and $T_{c,o}$ are the cooling water inlet-outlet temperatures (Eq.1-2).

$$T_h = (T_{h,i} - T_{h,o}) / \ln(T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (1)$$

$$T_c = (T_{c,i} - T_{c,o}) / \ln(T_{c,i} - T_{c,o}) \quad (2)$$

Evaporator and condenser pinch point temperature difference ($\Delta T_{pp,e}$ and $\Delta T_{pp,c}$) can be seen from the operating principle and T-s diagram of ORC given in Figure 1.

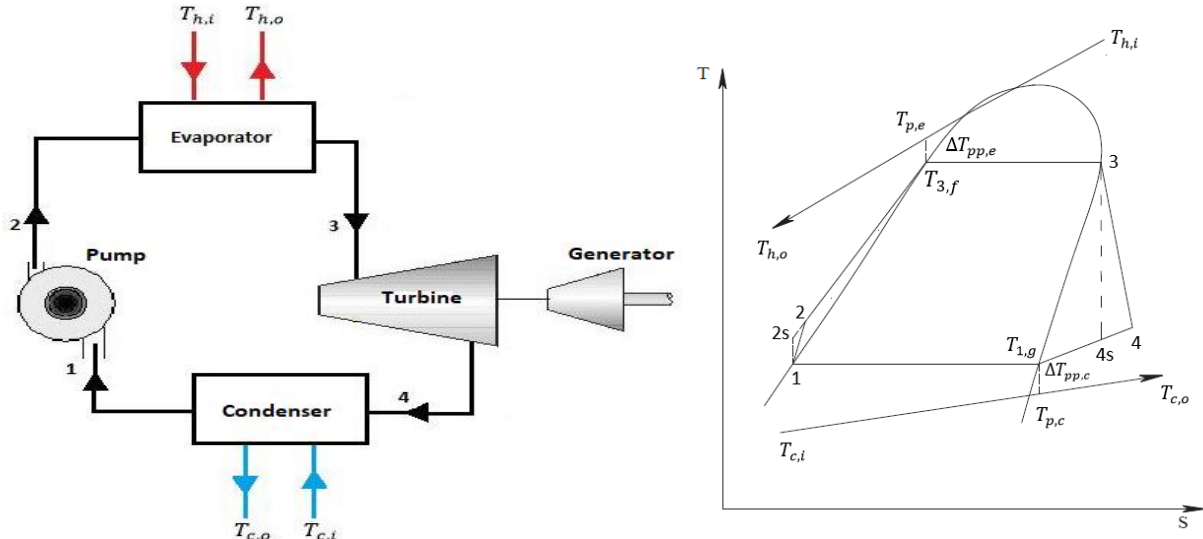


Figure 1. ORC Working Principle and Demonstration of $\Delta T_{pp,e}$ and $\Delta T_{pp,c}$ in T-s diagram

The evaporator and condenser energy balance relations (Eq.3-8) are given below.

- Evaporator energy balance

$$\dot{m}_{ORC} * (h_3 - h_2) = \dot{m}_h * Cp * (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (3)$$

$$\dot{m}_{ORC} * (h_3 - h_{3,f}) = \dot{m}_h * Cp * (T_{h,i} - T_{p,e}) \quad (4)$$

$$\Delta T_{pp,e} = (T_{p,e} - T_{3,f}) \quad (5)$$

- Condenser energy balance

$$\dot{m}_{ORC} * (h_{4a} - h_1) = \dot{m}_c * Cp * (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (6)$$

$$\dot{m}_{ORC} * (h_{1,g} - h_1) = \dot{m}_c * Cp * (T_{p,c} - T_{c,i}) \quad (7)$$

$$\Delta T_{pp,c} = (T_{1,g} - T_{p,c}) \quad (8)$$

($T_{p,e}$: evaporator pinch point temperature; $T_{p,c}$: condenser pinch point temperature)

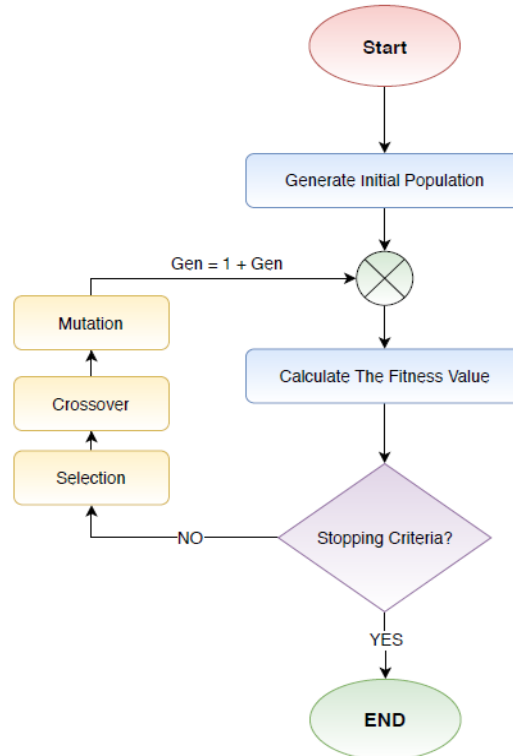
For the thermodynamic analysis of ORC; all processes are under steady state. Pressure losses in the evaporator and condenser are neglected, all equipment is considered adiabatic. Isentropic efficiency of the turbine and the pump are 75%.

3.2. Thermodynamic Optimization with NSGA-II

NSGA-II optimization technique is used for optimum fluid selection under different heat source temperatures. Tournament selection method was used for the optimization of the simple ORC with the genetic algorithm. The NSGA-II parameter for optimization are shown in Table 3. Flow diagram of GA's working principle is shown in Figure 2.

Table 3. The NSGA-II parameter for optimization

NSGA-II Parameters	Values
Population size	64
Maximum generations	256
Crossover probability	0,7
Mutation probability	0,175
Selection process	Tournament

**Figure 2.** Flow chart of the genetic algorithms

Thermodynamic optimization is performed using NSGA-II. The lowest turbine power in the system is 1 kW; the highest turbine power has been set as 10 kW. Heat source temperatures: 90, 100 and 110 °C. Heat source mass flow rate is 0.27 kg/s. The primary working conditions are selected as decision variables which include evaporating pressure (P_{eva}), $\Delta T_{PP,e}$, $\Delta T_{PP,c}$ and superheating temperature (T_{sup}). Since organic fluids in different fluid categories are used in the design, the limit values for evaporation pressure have been determined at different ranges. In this way, better results were obtained in optimization. Table 4 summarizes the logical bounds for four decision variables.

Table 4. Logical bounds for four decision variables

Organic Fluids	Evaporating Pressure (P_{eva}) (kPa)	$\Delta T_{PP,e}$ (°C)	$\Delta T_{PP,c}$ (°C)	T_{sup} (°C)
R601	$260 < P_{eva} < 310$	$1 < \Delta T_{PP,e} < 10$	$1 < \Delta T_{PP,c} < 10$	$0 < T_{sup} < 20$
R601a	$330 < P_{eva} < 385$			
R141b	$300 < P_{eva} < 355$			
R123	$350 < P_{eva} < 410$			
R152a	$1840 < P_{eva} < 2160$			
R134a	$2100 < P_{eva} < 2670$			
R1234yf	$2000 < P_{eva} < 3200$			
R1234ze	$1600 < P_{eva} < 1900$			

Based on the energy balance and the definition of evaporator and condenser pinch point temperature difference, other following constraints are considered in the optimization. Thermodynamic optimization was applied

separately for 3 different heat source temperatures. Therefore, the limitations that should be related to the heat source temperature are also specified.

- $1 \text{ kW} < W_T < 10 \text{ kW}$
- $T_{\text{eva}} + \Delta T_{\text{PP,e}} < T_{\text{h,i}}$
- $T_{\text{eva}} + \Delta T_{\text{PP,e}} < T_{\text{critical}}$
- $T_{\text{eva}} + T_{\text{sup}} < T_{\text{h,i}}$
- $T_{\text{c,i}} + \Delta T_{\text{PP,c}} < T_{\text{con}}$

With the NSGA-II, ORC system has been evaluated by considering 4 different factors as energy, exergy, economic (turbine performance) and environment. 6 different objective functions have been determined. The $G(x)$ weight function has been determined by evaluating the percentage increase in performance achieved by the fluid reaching the desired objective function.

Energy:

- $f1(x)$: $\max(\eta_{\text{isil}})$; Thermal efficiency maximization
- $f2(x)$: $\max(W_T)$; Turbine power maximization

Exergy:

- $f3(x)$: $\max(\eta_{\text{ii}})$; Exergy efficiency maximization
- $f4(x)$: $\min(I_T)$; Total irreversibility minimization

Economic (Turbine performance):

- $f5(x)$: $\min(\text{VFR})$; Volume Flow Ratio minimization

Environmental:

- $f6(x)$: $\min(\text{EEF})$; Environmental Effect Factor minimization

where $x = \{P_{\text{eva}}, \Delta T_{\text{PP,e}}, \Delta T_{\text{PP,c}}, T_{\text{sup}}\}$ subjected to lower bound $< x <$ upper bound.

In addition to the VFR, turbine Size Parameter (SP) and turbine Pressure Ratio (PR) were also examined within the scope of turbine performance. The correlations related to these values are given in equation 9-13. ORC systems with low VFR can reach high turbine efficiency values. In addition, high SP values require a high turbine size.

$$\dot{m}_{\text{ORC}} = \rho_3 \dot{V}_3 \quad (9)$$

$$\dot{m}_{\text{ORC}} = \rho_4 \dot{V}_4 \quad (10)$$

$$\text{VFR} = \dot{V}_4 / \dot{V}_3 \quad (11)$$

$$\text{SP} = \frac{\sqrt{\dot{V}_4}}{[(h_3 - h_{4s})\eta_+]^{\frac{1}{4}}} \quad (12)$$

$$\text{PR} = P_3 / P_4 \quad (13)$$

In addition to EEF minimization, Waste Exergy Ratio (WER) and Exergy Sustainability Index (ESI) were also examined within the scope of thermodynamic sustainability indices. The relations related to these values are given in equation 14-16.

$$\text{WER} = I_{\text{total}} / E_{\text{Expended}} \quad (14)$$

$$\text{EEF} = \text{WER} / \eta_{\text{ii}} \quad (15)$$

$$\text{ESI} = 1 / \text{EEF} \quad (16)$$

4. Model Validation

The prepared model was compared with the data of two different studies using different pinch point temperatures. When the net power values obtained are examined, it is seen that the model is usable (Table 5).

Table 5. Model Validation (NSGA-II)

Design Parameters	Heat Source Temperature: 150 °C; Heat Sink Temperature: 20 °C; $\Delta T_{pp,e} + \Delta T_{pp,c} = 20$ °C Turbine and pump isentropic efficiency: 85% and 80%				Evaporation Temperature: 80 °C $\Delta T_{pp,e} = 8$ °C Turbine and pump isentropic efficiency: 80% and 70%	
Organic Fluids	R113		R11		R245fa	
Performance Parameters	Present Study	Literature (Jiansheng et al. 2017)	Present Study	Literature (Jiansheng et al. 2017)	Present Study	Literature (Jankowski et al. 2019)
Net Power (kW)	73.12	73.91	70.24	70.93	50.2	51.0

5. Result and Discussion

In this study, optimum fluid was determined by using NSGA-II for 90, 100 and 110 °C heat source temperature. ORC performance is determined under 6 different $f(x)$, objective functions. Weight function $G(x)$; It is organized under the objective functions by taking into consideration the increase in the performance of the fluids.

Figure 3 shows the thermal efficiency, turbine power, exergy efficiency and total irreversibility values of 8 different fluids at the optimum design point of 90 °C heat source temperature under different objective functions.

- It is seen that the best fluid in terms of thermal efficiency maximization is R141b. However, it is seen that R1234yf fluid is better as turbine power.
- In the system with R1234yf, the thermal efficiency was not found high due to the need for heat input. In the system with R141b, 16.9% more thermal efficiency was obtained than R1234yf. However, in the system with R1234yf, 25.1% more turbine power was obtained than R141b.
- It is seen that R141b is better in exergy efficiency maximization and total irreversibility minimization values.

Figure 4 shows the VFR, SP and PR values of 8 different fluids at the optimum design point of 90 °C heat source temperature under different objective functions. It is seen that R152a has very low VFR and SP value compared to other fluids. It was stated that the lowest value in the turbine pressure ratio values is in R1234yf.

Figure 5 shows the EEF, ESI and WER values of 8 different fluids at the optimum design point of 90 °C heat source temperature under different objective functions. It is seen that the lowest environmental impact factor is obtained in fluid R141b. It was determined that the EEF value of the system with R1234yf is 9.1% higher than the system with R141b.

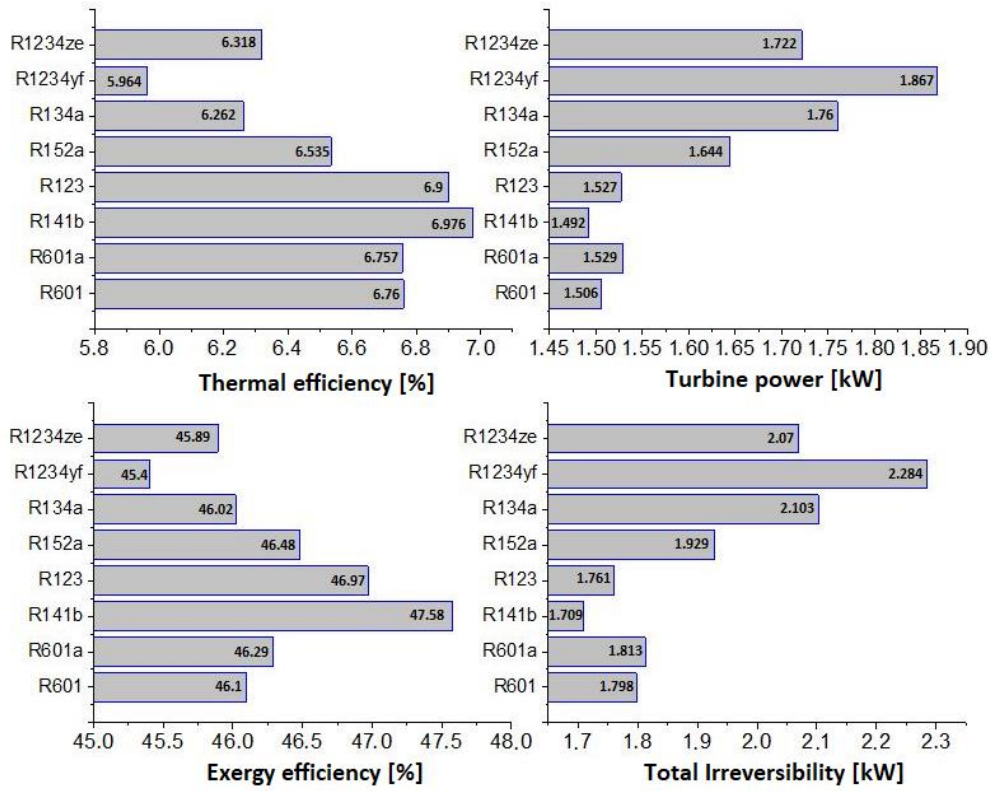


Figure 3. Determination of thermodynamic performance parameters of different fluids at 90 °C heat source temperature

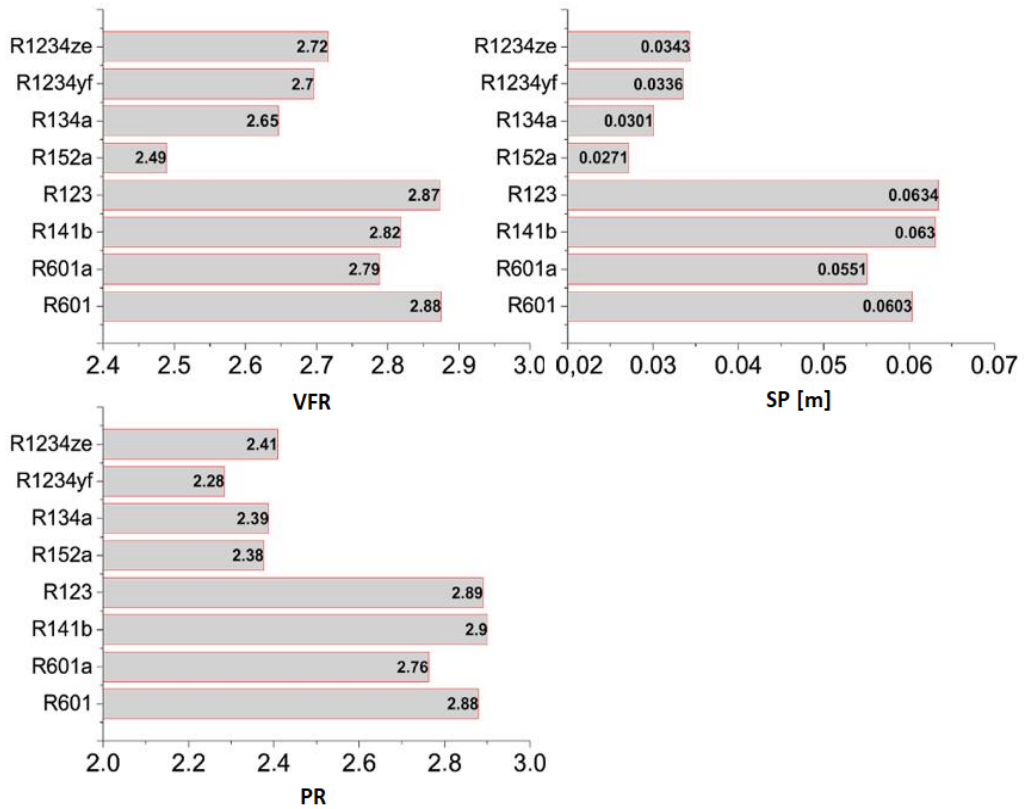


Figure 4. Determination of economic (turbine performance) parameters of different fluids at 90 °C heat source temperature

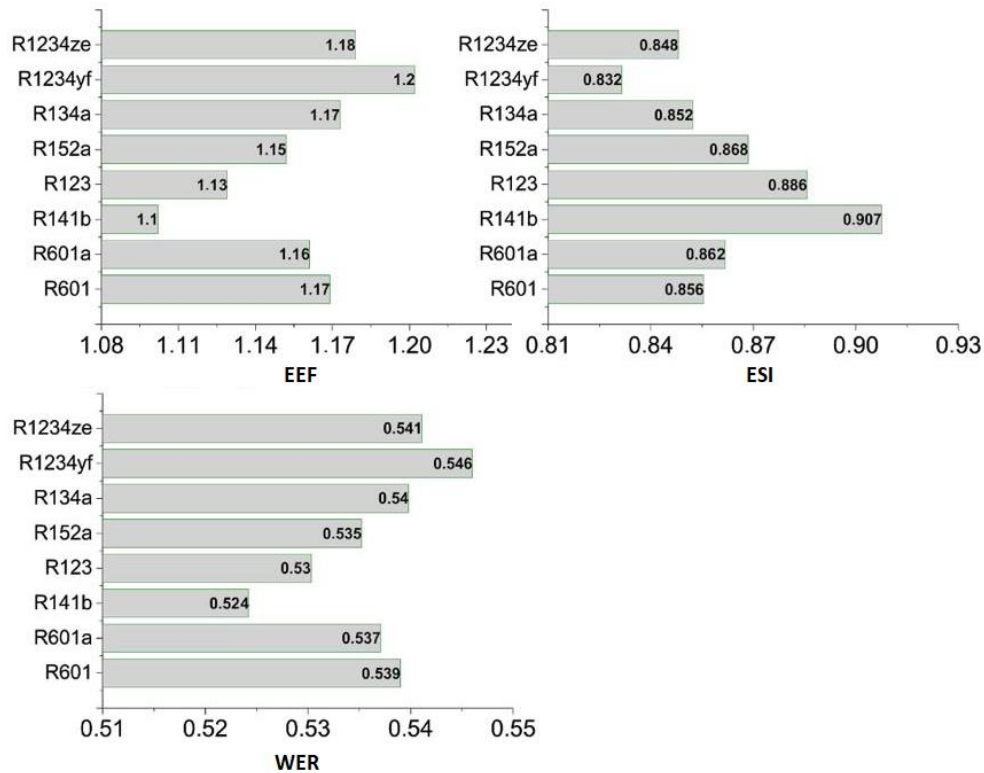


Figure 5. Determination of thermodynamic sustainability parameters of different fluids at 90 °C heat source temperature

The best performing fluids for the objective functions determined under 90 °C heat source temperature is summarized in Table 6. The average performance increase percentage of the fluid that is optimally determined under the objective functions in comparison to other fluids is specified in the table. The R141b fluid performed 7.58% better than other fluids under the thermal efficiency maximization objective function. Other objective functions were also evaluated in the same way. As a result of the weight function determined according to the performance increase percentages, R141b can be used in proportion as 51% optimally for 90 °C heat source temperature (Decision points for R141b; P_{eva} : 325.4 kPa, $\Delta T_{PP,e}$: 4.94 °C, $\Delta T_{PP,c}$: 5.07 °C, T_{sup} : 0.8968 °C).

Table 6. Determination of optimum fluid under different objective function at 90 °C heat source temperature

$T_{h,i}$ 90 °C	$f_1(x)$ max (η_{th})	$f_2(x)$ max (W_T)	$f_3(x)$ max (η_{II})	$f_4(x)$ min (I_T)	$f_5(x)$ min (VFR)	$f_6(x)$ min (EEF)	G(x) with Availability rate
Optimum fluid Performance increase	R141b (7.58%)	R1234yf (17.36%)	R141b (3.07%)	R141b (12.34%)	R152a (10.17%)	R141b (5.49%)	51%, R141b 31%, R1234yf 18%, R152a

Thermodynamic analysis, turbine performance and sustainability indexes were determined for 100 and 110 °C as well as at 90 °C. Due to the limited number of pages, only optimization results are given for 100 and 110 °C. The best performing fluids for the objective functions determined under 100 °C heat source temperature is summarized in Table 7. The average performance increase percentage of the fluid that is optimally determined under the objective functions in comparison to other fluids is specified in the table. As a result of the weight function determined according to the performance increase percentages, 65% R1234yf was determined as the optimum fluid for 100 °C heat source temperature (Decision points for R1234yf; P_{eva} : 1795 kPa, $\Delta T_{PP,e}$: 6.67 °C, $\Delta T_{PP,c}$: 5.21 °C, T_{sup} : 9.33 °C).

Table 7. Determination of optimum fluid under different objective function at 100 °C heat source temperature

$T_{h,i}$ 100 °C	$f_1(x)$ max (η_{isil})	$f_2(x)$ max (W_T)	$f_3(x)$ max (η_{II})	$f_4(x)$ min (I_T)	$f_5(x)$ min (VFR)	$f_6(x)$ min (EEF)	G(x) with Availability rate
Optimum fluid Performance increase	R141b (2.45%)	R1234yf (18.23%)	R1234yf (6.05%)	R141b (5.12%)	R152a (11.04%)	R1234yf (9.68%)	65%, R1234yf 21%, R152a 14%, R141b

The best performing fluids for the objective functions determined under 110 °C heat source temperature is summarized in Table 8. The average performance increase percentage of the fluid that is optimally determined under the objective functions in comparison to other fluids is specified in the table. As a result of the weight function determined according to the performance increase percentages, 83% R1234yf was determined as the optimum fluid for 110 °C heat source temperature (Decision points for R1234yf; P_{eva} : 2477 kPa, $\Delta T_{PP,e}$: 4.5 °C, $\Delta T_{PP,e}$: 5.29 °C, T_{sup} : 12.83 °C).

Table 8. Determination of optimum fluid under different objective function at 110 °C heat source temperature

$T_{h,i}$ 110 °C	$f_1(x)$ max (η_{th})	$f_2(x)$ max (W_T)	$f_3(x)$ max (η_{II})	$f_4(x)$ min (I_T)	$f_5(x)$ min (VFR)	$f_6(x)$ min (EEF)	G(x) with Availability rate
Optimum fluid Performance increase	R1234yf (2.97%)	R1234yf (56.36%)	R1234yf (19.23%)	R141b (6.23%)	R152a (14.93%)	R1234yf (28.33%)	83%, R1234yf 12%, R152a 5%, R141b

6. Conclusions

In this study thermodynamic optimization study was carried out using NSGA-II for optimum fluid selection. Fluids in different categories (dry, isentropic, wet, new generations) were used in the design. The optimum fluid was determined by evaluating 6 different objective functions at 90, 100 and 110 °C heat source temperatures. These are, $f_1(x)$: max (η_{th}); $f_2(x)$: max (W_T); $f_3(x)$: max (η_{II}); $f_4(x)$: min (I_T); $f_5(x)$: min (VFR); $f_6(x)$: min (EEF).

It has been found that determining the optimum fluid with a single objective function may be erroneous. It has been determined that turbine power and thermal efficiency performance are not the same in some fluids due to evaporator load, condenser heat load and mass flow rate requirement. Therefore, the weight function was created by considering the performance increase it showed under 6 different objective functions. Accordingly, the percentage of using the optimum fluid has been determined.

At a heat source temperature of 90 °C, R141b performed better than the others under three different objective functions. Better results were obtained by 7.58% in thermal efficiency, 12.34% in total irreversibility, and 5.49% in EEF. As a result of the weight function, it has been determined that R141b can be used as an optimum fluid at the rate of 51%.

At a heat source temperature of 100 °C, R1234yf performed better than the others under three different objective functions. Better results were obtained by 18.23% in turbine power, 6.05% in exergy efficiency, and 9.68% in EEF. As a result of the weight function, it has been determined that R1234yf can be used as an optimum fluid at the rate of 65%. With the increase in heat source temperature from 90 °C to 100 °C, the percentage of R141b's optimum fluid availability decreased from 51% to 14%.

At a heat source temperature of 110 °C, R1234yf performed better than the others under four different objective functions. Better results were obtained by 2.97% in thermal efficiency, 56.36% in turbine power, 19.23% in exergy efficiency, and 28.33% in EEF. As a result of the weight function, it has been determined that R1234yf can be used as an optimum fluid at the rate of 83%. With the increase in heat source temperature from 100 °C to 110 °C, the percentage of R1234yf's optimum fluid availability increased from 65% to 83%. With the increase in heat source temperature from 90 °C to 110 °C, the percentage of R141b's optimum fluid availability decreased from 51% to 5%.

This study shows that in ORC systems, the optimum fluid heat source varies depending on the temperature and your purpose function. It is not possible to define a 100% ideal fluid for any heat source temperature. However, its optimized use depending on your purpose function will play an important role in increasing system performance.

Acknowledgement

This study includes a part of Sadık Ata's doctoral thesis.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Agromayor, R., Lars O. N., 2017. Fluid Selection and Thermodynamic Optimization of Organic Rankine Cycles for Waste Heat Recovery Applications. *Energy Procedia*, 129, 527–34.
- Al Jubori, A., et al., 2017. Three dimensional optimization of small-scale axial turbine for low temperature heat source driven organic Rankine cycle. *Energy Conversion and Management*, 133, 411–426.
- Altınkaynak, M., Çelik, D., 2021. Düşük Sıcaklığa Sahip Jeotermal Kuyularda Güç Üretimi Ekserjetik Performans Analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(2), 574–587.
- Andreasen, J. G., Larsen U., Knudsen T., Pierobon L., and Haglind F., 2014. Selection and Optimization of Pure and Mixed Working Fluids for Low Grade Heat Utilization Using Organic Rankine Cycles. *Energy*, 73, 204–13.
- Andreasen, J. G., Larsen, U., Knudsen, T., and Haglind, F., 2015. Design and Optimization of a Novel Organic Rankine Cycle with Improved Boiling Process. *Energy* 91, 48–59.
- Baral, S., 2019. Experimental and Techno-Economic Analysis of Solar-Geothermal Organic Rankine Cycle Technology for Power Generation in Nepal. *International Journal of Photoenergy*, vol. 2019, Article ID 5814265.
- Behzadi, A., Ehsan G., Ehsan H., and Ali H., 2018. Multi-Objective Optimization and Exergoeconomic Analysis of Waste Heat Recovery from Tehran's Waste-to-Energy Plant Integrated with an ORC Unit. *Energy*, 160, 1055–68.
- Bian, S., Teng W., Jin F. Y., 2014. Parametric Optimization of Organic Rankine Cycle by Genetic Algorithm. *Applied Mechanics and Materials*, 672–674, 741–45.
- Blondel, Q., et al., 2019. Experimental Study and Optimization of the Organic Rankine Cycle with Pure Novec™649 and Zeotropic Mixture Novec™649/HFE7000 as Working Fluid. *Applied Sciences*, 9, 1865.
- Boyaghchi, F. A., Mansoure C., Vajih S., 2015. Optimization of a Novel Combined Cooling, Heating and Power Cycle Driven by Geothermal and Solar Energies Using the Water/CuO (Copper Oxide) Nanofluid. *Energy*, 91, 685–99.
- Boyaghchi, F.A., Chavoshi, M., 2018. Monthly assessment of exergetic, economic and environmental criteria and optimization of a solar micro-CCHP based on DORC. *Solar Energy*, 166, 351–370.
- Calm, J.M., and Hourahan, G.C., 2007. Refrigerant Data Update. *HPAC Heating, Piping, AirConditioning Engineering*, 79 (1), 50–64.
- Coskun, C., Oktay Z., Dincer, İ., 2012. Thermodynamic analyses and case studies of geothermal based multi-generation systems. *Journal of Cleaner Production*, 32, 71–80.
- Coskun, A., Al-Talabani, M.G.H., 2017. Bir Kombine Çevrim Santralinin Ekserji Analizi. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 5(3), 537–545.
- Donato, T., Fazio A., 2014. A Numerical Procedure for the Preliminary Design of a ORC Power Plants with Positive Displacement Expanders. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 10 (January 2014), 186–96.
- Eyerer, S., et al., 2019. Experimental investigation of modern ORC working fluids R1224yd(Z) and R1233zd(E) as replacements for R245fa. *Applied Energy*, 240, 946–963.
- Fiaschi, D., Adi L., Giampaolo M., Duccio T., 2014. An Innovative ORC Power Plant Layout for Heat and Power Generation from Medium- to Low-Temperature Geothermal Resources. *Energy Conversion and Management*, 88, 883–93.
- Gutiérrez A., et al., 2015. Industrial Waste Heat Recovery and Cogeneration Involving Organic Rankine Cycles. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17 (3), 767–79.
- Han, Z., Yida Y., Yilin Y., 2013. Selection of Working Fluids for Solar Thermal Power Generation with Organic Rankine Cycles System Based on Genetic Algorithm. *ICMREE 2013 - Proceedings: 2013 International Conference on Materials for Renewable Energy and Environment 1: 102–6*.
- Hu, B., Guo, J., Yang, Y., et al., 2022. Selection of working fluid for organic Rankine cycle used in low temperature geothermal power plant. *Energy Reports*, 8, 179–186.
- Huster, W. R., Artur M. S., Alexander M., 2020. Working Fluid Selection for Organic Rankine Cycles via Deterministic Global Optimization of Design and Operation. *Optimization and Engineering*, 21 (2), 517–36.
- Imran, M., Byung S. P., Hyouck J. K., Dong H. L., Muhammad U., Manki H., 2014. Thermo-Economic Optimization of Regenerative Organic Rankine Cycle for Waste Heat Recovery Applications. *Energy Conversion and Management*, 87, 107–18.
- Jankowski, M., Aleksandra B., Katarzyna S. D., Giuseppe I., 2019. Determination of an Optimal Pinch Point Temperature Difference Interval in ORC Power Plant Using Multi-Objective Approach. *Journal of Cleaner Production* 217, 798–807.
- Javan, S., Vahid M., Pouria A., Pedram H., 2016. Fluid Selection Optimization of a Combined Cooling, Heating and Power (CCHP) System for Residential Applications. *Applied Thermal Engineering*, 96, 26–38.
- Kai, Z., et al., 2015. Parametric Optimization of Low Temperature ORC System. *Energy Procedia*, 75, 1596–1602.
- Khaljani, M., R. Khoshbakhti S., Bahlouli K., 2015. Thermodynamic and Thermo-economic Optimization of an Integrated Gas Turbine and Organic Rankine Cycle. *Energy*, 93, 2136–45.
- Khatita, M.A., et al., 2014. Power generation using waste heat recovery by organic Rankine cycle in oil and gas sector in Egypt: A case study. *Energy*, 64, 462–472.
- Kölsch, B., Radulovic, J., 2015. Utilisation of diesel engine waste heat by Organic Rankine Cycle. *Applied Thermal Engineering*, 78, 437–448.
- Larsen, U., Oskar S., Fredrik H., 2014. A Comparison of Advanced Heat Recovery Power Cycles in a Combined Cycle for Large Ships. *Energy*, 74, 260–68.
- Long, R., et al., 2014. Exergy Analysis and Working Fluid Selection of Organic Rankine Cycle for Low Grade Waste Heat Recovery. *Energy*, 73, 475–83.
- Nazari, N., Parisa H., and Soheil P., 2016. Multi-Objective Optimization of a Combined Steam-Organic Rankine Cycle Based on Exergy and Exergo-Economic Analysis for Waste Heat Recovery Application. *Energy Conversion and Management*, 127, 366–79.
- Pierobon, L., Masoud R., Ulrik L., and Fredrik H., 2013. Thermodynamic Analysis of an Integrated Gasification Solid Oxide Fuel Cell Plant Combined with an Organic Rankine Cycle. *Renewable Energy*, 60, 226–34.

- Shu, G., et al., 2014. Alkanes as working fluids for high-temperature exhaust heat recovery of diesel engine using organic Rankine cycle. *Applied Energy*, 119, 204-217.
- Walraven, D., et al., 2015. Minimizing the levelized cost of electricity production from low-temperature geothermal heat sources with ORCs: Water or air cooled?. *Applied Energy*, 142, 144-153.
- Wang H, Xu J., 2016. Multi-objective optimization for organic rankine cycle using BP-GA algorithm. *Proc Chin Soc Electr Eng*, 36(12), 3168-75.
- Wang, J., Mengzhen D., Kaihong Y., 2017. Optimization on Pinch Point Temperature Difference of ORC System Based on AHP-Entropy Method. *Energy*, 141, 97-107.
- Wang, M., et al., 2013. Thermodynamic analysis and optimization of a solar-driven regenerative organic Rankine cycle (ORC) based on flat-plate solar collectors. *Applied Thermal Engineering*, 50, 816-825.
- Woodland, Brandon J., Davide Z., James E. B., Eckhard A. G., 2020. Considerations on Alternative Organic Rankine Cycle Configurations for Low-Grade Waste Heat Recovery. *Energy*, 193, 116810.
- Xi, H., et al., 2014. Parametric Optimization of Zeotropic Mixtures Used in Low-Temperature Organic Rankine Cycle for Power Generation. *Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition GT2014*, June 16 – 20, Düsseldorf, Germany.
- Xi, H., Ming J. L., Ya, L. H., Wen, Q. T., 2015. A Graphical Criterion for Working Fluid Selection and Thermodynamic System Comparison in Waste Heat Recovery. *Applied Thermal Engineering*, 89, 772-82.
- Yang, F., Hongguang Z., Chen B., Songsong S., Enhua W., 2015. Parametric Optimization and Performance Analysis of ORC (Organic Rankine Cycle) for Diesel Engine Waste Heat Recovery with a Fin-and-Tube Evaporator. *Energy*, 91, 128-41.
- Zhao, M., et al., 2017. Simulation analysis of cooling methods of an on-board organic Rankine cycle exhaust heat recovery system. *International Journal of Energy Research*, 1-11.



AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİN ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİYLE ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYONU

Elif COŞGUN ŞAHİN^{1*}, Betül GÜLÇİMEN ÇAKAN¹, Mümin TUTAR² Umut Onur ŞAHİN³

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

² Bursa Uludağ Üniversitesi, Yenişehir İbrahim Orhan Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri
Bölümü, Bursa, Türkiye

³ Mactera Joining Technologies, Kudem Makine A.Ş. NOSAB, Bursa, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*AISI 304 Çeliği,
Elektrik Direnç Nokta
Kaynağı,
Kaynak Parametreleri,
Mekanik Özellikler,
Taguchi Yöntemi.*

Öz

Bu çalışmada, elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş AISI 304 paslanmaz çelik sacların mekanik özelliklerinin akım şiddeti, kaynak zamanı ve elektrot kuvvetine göre değişimi incelenmiştir. Kaynak parametrelerinin seçilebilmesi için elektrik direnç nokta kaynağı ile ön denemeler gerçekleştirilmiştir. Optimum sonuç için, parametre aralıkları belirlenirken çekirdek oluşumundan başlayarak parametreler değiştiğinde malzeme yüzeyinde oluşan çökme miktarı ve önemli düzeyde sıçratma dikkate alınmıştır. Taguchi yöntemi kullanılarak belirlenen maksimum ve minimum aralıklarda değerler değiştirilerek deney seti oluşturulmuştur. Bu amaçla, oluşturulan deney seti ile en yüksek kaynak dayanımını belirlemek için çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Kaynağın dayanımında en etkili olan parametrelerin sırasıyla akım şiddeti, elektrot kuvveti ve kaynak zamanı olduğu belirlenmiştir.

OPTIMIZATION OF RESISTANCE SPOT WELDING PARAMETERS OF AISI 304 STAINLESS STEEL BY MULTI OBJECTIVE TAGUCHI METHOD

Keywords

*AISI 304 Steel,
Resistance Spot Welding,
Welding Parameters,
Mechanical Properties,
Taguchi Method.*

Abstract

In this study, the mechanical properties of AISI 304 stainless steel sheets joined by resistance spot welding, current intensity, welding time and electrode force parameters were investigated. In order to select the welding parameters, preliminary experiments were carried out with resistance spot welding. For the optimum result, expulsion and indentation on the material surface as the parameters change, starting from the core formation, were taken into account when determining the parameter ranges. The experimental set was formed by changing the values in the maximum and minimum intervals determined by using the Taguchi method. For this purpose, tensile tests were carried out to determine the highest weld strength with the created test set. It has been observed that the most effective parameters on the strength of the weld are current intensity, electrode force and welding time, respectively.

Alıntı / Cite

Coşgun Şahin, E., Gülçimen Çakan, B., Tutar, M., Şahin, U.O., (2023). AISI 304 Paslanmaz Çeliğin Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Çok Amaçlı Optimizasyonu, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 324-335.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Coşgun Şahin, 0000-0002-9295-9467
B. Gülçimen Çakan, 0000-0003-1739-1143
M. Tutar, 0000-0002-7286-3433
U. O. Şahin, 0000-0002-4722-6344

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	08.06.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	09.09.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	29.09.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: elifcosgunn@gmail.com, +90-531-915-6610

OPTIMIZATION OF RESISTANCE SPOT WELDING PARAMETERS OF AISI 304 STAINLESS STEEL BY MULTI OBJECTIVE TAGUCHI METHOD

Elif COŞGUN ŞAHİN^{1†}, Betül GÜLÇİMEN ÇAKAN¹, Mümin TUTAR², Umut Onur ŞAHİN⁴,

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

² Bursa Uludağ Üniversitesi, Yenişehir İbrahim Orhan Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Bursa, Türkiye

³ Mactera Birleştirme Teknolojileri, Kudem Makine A.Ş. NOSAB Erguvan Cad. No:4/E Nilüfer, Bursa, Türkiye

Highlights

- The RSW parameters of AISI 304 stainless steel were optimized using Taguchi method.
- Tensile test and elongation values were used for determining the mechanical properties.
- The effect rank of the parameters was current intensity, electrode force and welding time.
- The tensile load increased almost linearly with increasing heat input index.

Purpose and Scope

Resistance spot welding is a joining method frequently used in many sectors, especially in automotive. It is preferred due to reasons such as lack of additional material, short application time, high-strength bonding and affordable cost. AISI 304 stainless steel is also used in automotive construction elements due to its corrosion resistance, high formability and ductility. Increasing the use of stainless steel in automotive provides low fuel consumption with low sheet thickness and helps energy efficiency. In this study, optimum parameters were determined considering the tensile strength and elongation values obtained from tensile tests of spot-welded sheets. As a result, it was ensured that the most suitable parameter providing the welding strength for AISI 304 stainless steel was preferred.

Design/methodology/approach

1,2 mm thick AISI 304 stainless steel test specimens were cut using the laser cutting method and were joined using resistance spot welding by considering the welding current intensity, welding time and electrode force as process parameters. Taguchi L9 orthogonal array consisting of 9 different types of samples was created for the optimization of welding parameters. In the Taguchi method, the S/N ratios were calculated with the "Larger the better" criterion. In addition, ANOVA table was created to determine the effect of individual parameters. The welding heat input values were also considered.

Findings

The order of importance of welding parameters was determined as welding current, electrode force and welding time. The current density is the parameter that affects the heat input the most, and as it increases, the heat input index increases. It has been determined that increasing weld core size also causes an increase in tensile strength. However, if the maximum welding current intensity value is exceeded, expulsion and excessive indentation occur due to melting in the welding core.

Research limitations/implications

The tensile strength of the bonded specimens increases as the current intensity increases. The highest tensile values were obtained as 16,11 kN at 13 kA. However, for the 1,2 mm AISI 304 stainless steel sheet joining process with resistance spot welding, the selection of higher current intensity value is not recommended due to expulsion and indentation error.

Originality

In this study, optimum parameters were determined by using the Taguchi method based on the tensile force and elongation values and considering the effect of heat input index values. Considering the increasing use of stainless steels in the automotive industry, it is thought that it would be beneficial to use the optimization method presented in this study and the obtained welding parameters.

† Corresponding author: elifcosgunn@gmail.com, +90-531-915-6610

1. Giriş (Introduction)

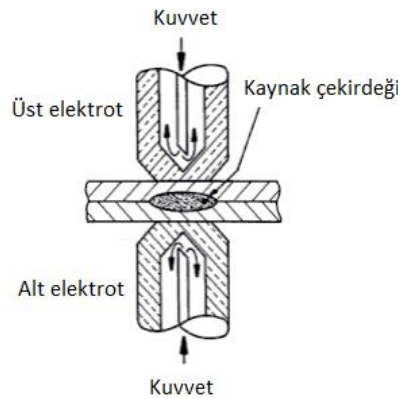
Elektrik direnç nokta kaynağı genellikle otomotiv sektöründe oldukça tercih edilen bir birleştirme yöntemidir. Genel olarak bir araçta yaklaşık 2000 ile 5000 arasında elektrik direnç nokta kaynağı bulunmaktadır. Bu kaynak metodu araç bütünlüğü ve güvenlik için oldukça önem arz etmektedir. Ayrıca elektrik direnç nokta kaynağında, ara malzeme kullanılmaması, çok kısa sürede kaynak gerçekleştirilebilmesi, uygun parametre seçimiyle beraber montaj hatlarına kolayca entegre edilebilen otomasyona uygun olması gibi avantajlarından dolayı sıklıkla tercih edilen bir imalat yöntemidir (Altun ve Özcan, 2015).

Günümüzde enerji tasarrufu ve güvenlik talepleri, araç üreticilerini araçları daha güvenli ve daha hafif hale getiren malzemeleri kullanmaya yöneltmektedir. Geçmişte alternatif olarak kullanılan hafif malzemelerin, maliyet ve kaynak kabiliyeti ile ilgili sorunları bulunmaktadır. Oysa paslanmaz çelik, üstün mekanik ve pekleşme özelliklerine, şekillendirilebilme ve kaynak kabiliyetine sahiptir. Bir otomobilde, yaklaşık 20 kilo paslanmaz çelik kullanılmaktadır (Placidi ve Fraschetti, 2005). Toplam paslanmaz çelik üretimi içinde östenitik paslanmaz çeliklerin payı %70 olup, bu çelik türünün en çok kullanılanı AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliklerdir. AISI 304 paslanmaz çelikler, yüksek korozyon dayanımına, mükemmel kaynak edilebilme ve sünek olduklarından kolay şekillendirilebilme kabiliyetlerine sahiptir (Kaya, 2010). AISI 304 paslanmaz çelik otomotivde, geleneksel olarak araba egzoz sistemlerinde, döşeme ve ızgaralarda ve çeşitli küçük bileşeni oluşturmak için korozyon direncinden ötürü kullanılır, ancak yeni emisyon azaltma standartları ve çevresel kaygılar üreticileri paslanmaz çelikleri yapı elemanlarında da tercih etmeye itmektedir. Bu çelikler, düşük sac kalınlıkları seçim avantajıyla güvenlikten taviz vermeden ağırlığı azaltılarak daha düşük yakıt tüketimi sağlayıp enerji verimliliğini ve sera gazını azaltmaya yardımcı olabilmektedirler. AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin gelecekte özellikle otomotiv sektöründe yapısal olarak da kullanımının artacağı varsayılarak bu çalışmanın faydalı olacağı düşünülmektedir.

Elektrik direnç nokta kaynağı, takriben 3 mm kalınlığa kadar olan aynı kimyasal bileşimdeki sac ve levhaların birbirini üzerine bindirilerek birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılır (Karcı, 2008). Kaynaklı imalat yöntemlerinde en önemli faktör kaynağın yapısal karakteristikleri olup, statik ve dinamik yüklemelerde mekanik ve yorulma dayanımının iyi olması gerekmektedir. Elektrik direnç nokta kaynağı yöntemiyle birleştirilen iki sac malzeme için öncelik kaynağın mukavemetidir (Çavdar vd., 2017). Elektrik direnç nokta kaynağının dayanımını sağlamak için en iyi parametreleri belirlemek büyük önem taşır. Bu çalışmada, yapılan kaynak mukavemeti ve uzama öncelik gözetilerek optimum parametreler belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda AISI 304 paslanmaz çelik için kaynak dayanımını sağlayan daha uygun bulunan parametrelerin tercih edilmesi amaçlanmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Elektrik direnç nokta kaynağı, iş parçalarının devrenin bir parçasını oluşturduğu bir prosesin kaynak akımının akışına karşı iş parçalarının direncinden elde edilen ısı ve basınç ile sac malzemelerin birleşmesini sağlayan bir grup kaynak işlemi içerir. Şekil 1'de görüldüğü gibi elektrotların yerleştirildiği yerde metal sacların arasında bir kaynak çekirdeği oluşur (O'Brien ve American Welding Society, 2015).



Şekil 1. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Prosesi (Resistance Spot Welding Process) (Phillips, 2016)

Bu direnç kaynağı uygulamalarıyla ilişkili ana işlem değişkenleri şunlardır; kaynak akımı, kaynak süresi, elektrot kuvveti, elektrot malzemesi ve elektrot tipi konfigürasyonudur. Bu değişkenler için parametreler uygun şekilde ayarlandıktan sonra, direnç kaynağı işlemlerini kullanmak için diğer kaynak işlemlerine göre daha az beceri gerekir. Bu parametreler uygun belirlenemez ise birçok olumsuz durum ile karşılaşılabilir. Kaynak metalinin sıçraması, genellikle aşırı kaynak akımının kullanılmasından kaynaklanan aşırı ısınmanın sonucudur. Bu, durum

yüksek akım yetersiz elektrot kuvveti veya uygun olmayan elektrotlar sonucu da ortaya çıkabilmektedir. Sıçramanın oluşmasını önlemek için uygun elektrot kuvveti ve kaynak akımı tercih edilmelidir. Başka bir durum ise elektrot kuvvetinin düşük olması, aşırı ısı üretimi, erimiş metalin dışarı atılmasına neden olur bunlarda çatlaklara veya gözenekli yapıya sebep olabilir (Sinnes ve Welding Handbook Committee, 2018).

Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak bağlantılarında mekanik özellikleri belirleyen kaynak sırasındaki ısı girdisidir. Çekirdek çapı, çökme miktarı gibi önemli sınırlayıcı parametrelerin ısı girdisiyle bağlantılı değişimleri Eşitlik (1)'de gösterilmiştir:

$$Q = I^2Rt \quad (1)$$

Bu denklemde; Q üretilen ısı, I kaynak akımı, R elektrik direnci, t kaynak süresi olarak temsil edilmektedir. Formülü incelediğimizde kaynak akım ve zamanının ısı girdisini doğrudan etkilediği görülmektedir. Elektrik direncini birden fazla parametre etkilemektedir. Varsayılan parametre elektrot kuvveti ile ters orantısı olmuştur. Elektrot kuvveti arttıkça elektrik direnci düşecek ve ısı girdisi azalacaktır. Bu durumda ısı girdisi Eşitlik (2)'deki gibi tanımlanabilmektedir (Pouanvari, 2011):

$$IGİ = I^2t/F \quad (2)$$

Bu formülde; IGİ ısı girdisi indeksi, I kaynak akımı; t kaynak süresi, F elektrot kuvveti olarak temsil edilmektedir. Taguchi metodunda, deneylerden elde edilen sonuçlar sinyal/gürültü oranına (S/N) çevrilerek değerlendirilme yapılmıştır. Burada S sinyal faktörü N ise gürültü faktörünü göstermektedir. Sinyal faktörü sistemden alınan gerçek değeri, gürültü faktörü ise deney tasarımına katılmayan ama deney sonucunu etkileyen etmenleri temsil etmektedir. Gürültü kaynakları, elde edilmek istenen performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına sebep olan tüm değişkenlerdir. Bu durumda S/N oranındaki gürültü faktörlerini gösteren N değeri ne kadar küçük olursa istenen hedef değere o kadar yaklaşılmaktadır. Dolayısıyla bu analizde amaç S/N oranını maksimize etmektir (Turgut ve Dikici, 2011). Taguchi metodunda, amacın “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi” ve “nominal en iyi” olmasına göre S/N oranları hesaplanmaktadır (İç ve Yıldırım, 2012). Fakat bu analizde performans karakteristiğinin maksimize edilmesi için amaç “en büyük en iyi” olacağından S/N oranı Eşitlik (3) ile hesaplanabilir (Kumar vd., 2011):

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3)$$

Burada n deney sayısıdır ve y_i performans yanıtının i . gözlem değerini ifade eder. Daha yüksek bir S/N oranı, ana sinyal gürültüye hakim olduğundan, maksimum çekme kuvveti ve uzama değeri için iyi bir değerlendirme olduğunu gösterir. Parametre etkilerini hesaplamak için Eşitlik (4) kullanılabilir (Tutar vd., 2014):

$$S/N_{i,j} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n S/N_k \quad (4)$$

Burada S/N_{ij} , i . parametrenin j . seviyesinin ortalama S/N değeridir, n , i . parametrenin j . seviyesini içeren deney sayısı ve S/N_k , k . deneyin S/N değeridir.

Farklı üretim yöntemleri için üretim parametrelerinin proses çıktıları üzerindeki etkilerini Taguchi Deney Tasarım metodu ve varyans analizi (ANOVA) kullanarak inceleyen çalışmalar literatürde mevcuttur (Kayabaşı ve Çakmak, 2019). Bu metodu elektrik direnç nokta kaynağı için gerçekleştirilen çalışmalara da rastlanmaktadır. Tutar ve arkadaşları (2017), TWIP çelik sac malzeme kullanarak elektrik direnç nokta kaynağıyla farklı kaynak parametreleri kullanarak birleştirmeler yapmışlardır. Kaynak parametreleri Taguchi yaklaşımı kullanılarak çok amaçlı olarak optimize edilmiştir. Kaynak akımı, kaynak zaman ve elektrot kuvveti giriş parametresi iken, çekme kuvveti ve çökme değerleri ise çıkış parametresi olarak ölçülmüştür. Kaynak parametrelerinin etkisi sırasıyla, kaynak akımı, elektrot kuvveti, kaynak süresi olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada iki faktörün çoklu analiz edilmesi bakımından yapılan çalışma incelenmeye değerdir. Çetin ve arkadaşları (2018), Taguchi yöntemini kullanarak düşük karbonlu çelik ve östenitik paslanmaz çelik malzemelerinin gaz metal ark kaynak metoduyla kaynak edilebilirliğini araştırmışlardır. Akım-voltaj (kaynak enerjisi) değerleri ve tel besleme hız parametreleri giriş parametresi olarak kullanılmış, kaynak bölgesinin sertliği ve çekme mukavemeti çıkış parametresi olarak ölçülmüştür. Ayrıca, kaynak bölgelerinin mikro yapısını da incelemişlerdir. AISI 304 paslanmaz çeliği ile S235JR düşük karbonlu çelik malzemenin, MIG kaynak yöntemiyle farklı kaynak parametrelerinde birleştirmiş bu çalışmadan çıkan deney sonuçları ve Taguchi metoduyla elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Yüce (2021) çalışmasında, elektrot kuvveti, kaynak akımı ve kaynak süresinin elektrik direnç nokta kaynağı parametrelerini optimize etmek için Taguchi metoduyla çok amaçlı bir optimizasyon gerçekleştirmiştir. Parametrelerin etkisini çekme kuvveti, çekirdek çapı ve çökme değerlerini ölçerek belirlemiştir. Taguchi metodunun yanı sıra, her parametrenin her yanıt üzerindeki etki oranlarını incelemek için ANOVA yöntemi uygulamıştır. Artan kaynak akımının bir sonucu olarak, yüksek ısı girdi seviyelerine sahip numuneler daha büyük bir çökme oranına sahiptir. Kaynak akımının çekme kuvveti üzerinde önemli bir etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak akımının belirli bir değere kadar artması çekme yükünü artırmıştır. Çekme kuvveti, çekirdek çapı ve çökme değerleri için en etkili parametreler sırasıyla, kaynak akımı, kaynak zamanı ve elektrot kuvveti parametre olmuştur. Çalışmada gerçekleştirilen çok amaçlı optimizasyon ile parametrelerin etkileri daha net olarak belirlenebilmektedir. Kumar ve Eapen (2021) AISI 304 paslanmaz çeliğini kullanarak elektrik direnç nokta kaynağıyla kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrot çapını dikkate alarak deneysel bir araştırma sunmuştur. Taguchi metodunu kullanarak analiz gerçekleştirilmiştir. Çıkış parametresi olarak çekme kuvveti ölçülmüştür. Kaynak akımı arttıkça çekme yükünün de arttığı sonucu çıkarılmıştır. Kaynak akımı arttığında üretilen artan ısının bir sonucu olarak büyük kaynak çekirdeği oluşumu tespit edilmiştir. Kaynak mukavemetini en çok etkileyen parametrenin kaynak akımı olduğu, bunu sırasıyla kaynak süresi ve elektrot çapının izlediği görülmüştür. Bu çalışmada bir çıkış parametre üzerine etkisi incelendiğinden dolayı çok amaçlı optimizasyon hakkında yeterli bilgi vermemektedir. Emre (2019) mukavemet ve kaynak çekirdek geometrisinin optimizasyonu için kaynak akımı ve zamanı parametreleri dikkate alınarak TWIP çelik saclar nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiştir. Bu amaçla çıkış parametresi olarak çekme makaslama dayanımı ve kaynak çekirdek çapının değerini ölçerek Taguchi optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Çekme makaslama dayanımı, artan kaynak çekirdek çapının kritik bir seviyeye kadar artmasıyla arttığı sonucuna varılmıştır. Çekme makaslama dayanımının değişiminde en önemli kaynak parametresi kaynak akımı ve kaynak çekirdek çapı için en önemli kaynak parametresi ise kaynak zamanı olarak bulunmuştur. Taguchi optimizasyon verileriyle deneysel çalışma verilerinin örtüştüğü görülmüştür. Bina ve arkadaşları (2014), kaynak akımının AISI 304 ve AISI 430 paslanmaz çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi ile kaynak kabiliyetine etkisini araştırmışlardır. 3 farklı kaynak akımı seviyesi kullanılarak numunelerin mekanik özellikleri ve mikro yapısı incelenmiştir. Akım arttıkça her iki tarafta da çekirdek çapında artış olduğu tespit edilmiştir. Kaynaklı numunelerin çekme mukavemeti, artan ısı girdisi nedeniyle önce kaynak akımıyla artmış, daha sonra yüksek akımda kaynakta iç kusurların oluşması nedeniyle azaldığı gözlemlenmiştir. Malzeme olarak iki farklı çeliğin kullanılmış olması ve yalnızca kaynak akımı parametresinin incelenmesi sebebiyle, 304 paslanmaz malzemeler üzerindeki parametrelerin etkisi hakkında tam bilgi vermemektedir. Bina ve arkadaşları (2015), kaynak süresinin, AISI 304 ile AISI 430 paslanmaz çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi kullanılarak kaynak kabiliyetine etkisi araştırmışlardır. 4 farklı kaynak süresi için malzemelerin, çekme mukavemeti, makro yapısı, mikro yapısı, mikro sertliğini incelemişlerdir. Kaynak süresi arttıkça her iki tarafta çekirdek çapı artmıştır. Deney tasarımındaki maksimum kaynak süresinde birleştirilen numunede kaynak çekirdek merkezinde boşluk gözlemlenmişler ve elektrik direnç nokta kaynaklarındaki bu iç kusurların, yüksek kaynak süresinden dolayı oluştuğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada iki farklı çeliğin malzeme olarak tercih edilmesi ve tek parametre incelenmesi nedeniyle, parametrelerin 304 paslanmaz çelik kaynak kabiliyeti üzerindeki etkisini görebilmek için diğer parametrelerinde sağlandığı bir çalışma gereklidir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Malzeme (Material)

Deney numune malzemesi olarak 1,2 mm kalınlığında AISI 304 paslanmaz çeliği kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi Spectrotest TXC03 spektrometre cihazı ile elde edilip, Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde Kullanılan AISI 304 Paslanmaz Çeliğin Kimyasal Kompozisyonu (% ağırlık) (Chemical Composition of AISI 304 Stainless Steel Used in Tests (% by weight))

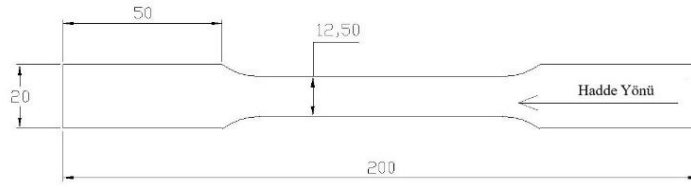
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Nb	Fe
0,014	0,280	1,830	0,006	0,009	17,490	7,370	0,520	0,370	≈ 0	71,530

Üretici tarafından sağlanan mekanik özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. AISI 304 Çeliği Mekanik Özellikleri (Mechanical Properties of AISI 304 Steel)

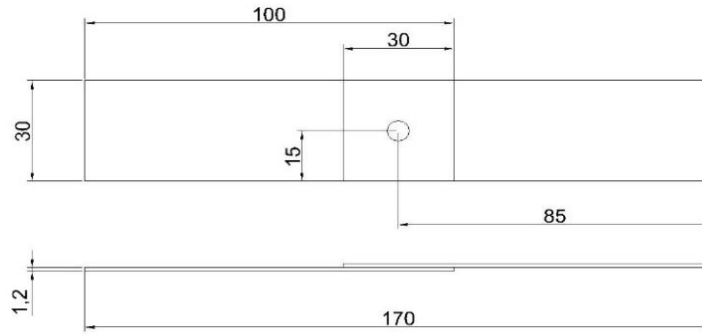
AISI 304 (EN 1.4301)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Sertlik Vickers (HV)
X5CrNi18-10	515 - 720	210 (en düşük)	199

Esas malzemenin mekanik özelliklerini belirleyebilmek için, ASTM E8/E8M standardına uygun olarak 5 adet çekme deneyi numunesi CNC lazer tezgahında kesilerek hazırlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Esas Malzeme İçin Çekme Numunesi CAD Görüntüsü (CAD Image of Tensile Specimen for Base Material) (ASTM E8/E8M-16a, 2016)

Kaynaklı numunelerin çekme testlerini gerçekleştirmek amacıyla, 100x30x1,2 mm boyutlarında plakalar yine CNC lazer kesim yöntemiyle kesilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi 30 mm üst üste binecek şekilde 2 plaka elektrik direnç nokta kaynağıyla birleştirilmiştir.



Şekil 3. Kaynaklı Çekme Deneyi Numunelerinin Boyutları ve Kaynak Pozisyonu (Dimensions and Welding Position of Welded Tension Test Samples)

Elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilen test numuneleri de hadde yönüne paralel doğrultuda hazırlanmıştır. Şekil 4'te kaynak edilmiş parça üzerinde hadde yönü gösterilmiştir.



Şekil 4. Kaynak Edilmiş Çekme Deneyi Numunesi (Welded Tension Test Sample)

3.2. Yöntem (Method)

Sac numuneler elektrik direnç nokta kaynağı ile kaynak akım şiddeti, kaynak zamanı ve elektrot kuvveti parametreleri gözetilerek birleştirilmiştir. Kaynak parametrelerinin optimizasyonu için Taguchi Yöntemi ile deney tasarımının yapılması hedeflenmiştir. Yöntemi kullanabilmek için kaynak parametrelerinin alt ve üst sınırlarını belirlemek adına ön denemeler gerçekleştirilmiştir. Bunun için ısı girdisini maksimize edecek akım ve zaman değerleri belirlenmesi gerekmiştir. Isı girdisi maksimum değere çıkarıldığında kaynak kesitindeki çökme miktarı artar ve görsel olarak kabul edilemez bir kaynak ortaya çıkabilmektedir. Otomotiv sektöründeki bu çökme miktarı maksimum değeri genellikle %40 olarak alınmaktadır. Bu çalışmada da parametre değerleri belirlenirken, çökme miktarını %40'a olması dikkate alınmıştır. Ayrıca yüksek düzeyde sıçratma olmaması da önemli bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Bulunan bu değerler akım ve zaman için üst sınır parametreleri olarak alınmıştır. Kuvvet için ise alt sınır parametresi olarak belirlenmiştir. Isı girdisini azaltırsak, kaynakta oluşması gereken birleşme bölgesi bir yerden sonra elde edilememektedir. Burada kaynaklı numunede soyma testi sonucu kaynak bölgesindeki çekirdek oluşumu tespit edilmiştir. Çekirdek oluşumunun tespit edilebildiği ilk numunedeki değerler; akım ve kaynak zamanı için alt sınır parametreleri, kuvvet içinse üst sınır parametresi olarak alınmıştır. Bu şekilde bu üç parametrenin alt ve üst sınırları deneysel olarak belirlenmiştir. Ön denemeler sonucu kaynak parametrelerinin aralıklarını belirleme çalışmasında kaynak üst ve alt sınırları; kaynak akımı için 6-13 kA, kaynak zamanı için 10-20 çevrim, elektrot kuvveti için 1,5-2,5 bar arasında değerler belirlendikten sonra Taguchi L9 ortogonal dizini ile deney seti oluşturulmuştur. 9 farklı tip numuneden oluşan Taguchi L9 ortogonal dizini ile oluşturulan deney seti Tablo 3'te gösterilmiştir. Her numune tipine ait parametrelere göre üç adet paslanmaz çelik sac elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiştir.

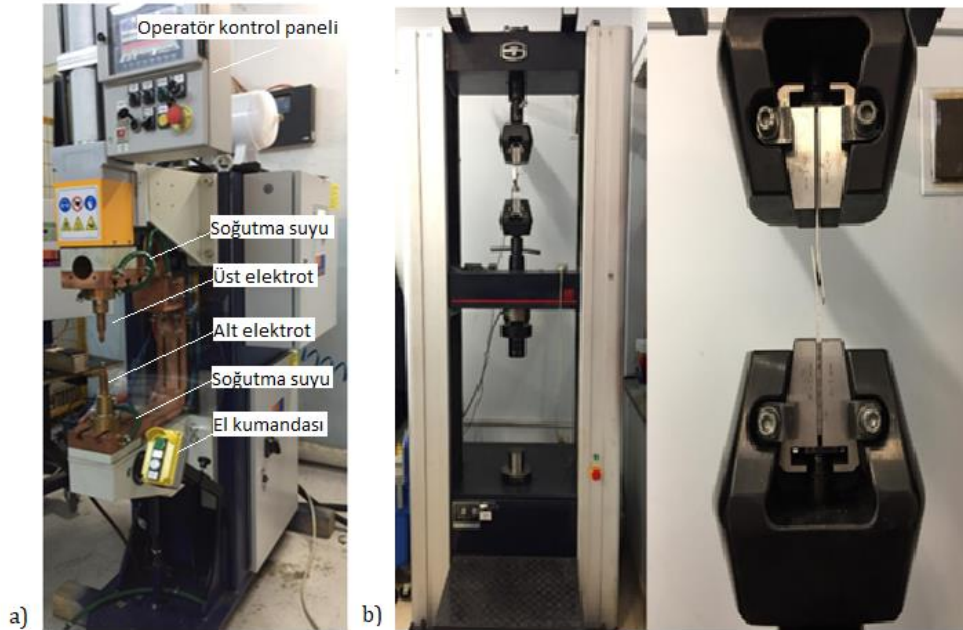
Tablo 3. Taguchi L9 Ortogonal Diziniyle Oluşturulan Deney Seti Kaynak Parametreleri (Welding Parameters of the Experiment Set Created with Taguchi L9 Orthogonal Index)

Numune Adı	Deney Numarası	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Zamanı (Çevrim) 1 çevrim = 0,02 s	Elektrot Kuvveti (bar)
111	1	6	10	2,5
122	2	6	15	2,0
133	3	6	20	1,5
212	4	9,5	10	2,0
223	5	9,5	15	1,5
231	6	9,5	20	2,5
313	7	13	10	1,5
321	8	13	15	2,5
332	9	13	20	2,0

Deney numunelerinin kaynak ile birleştirilmesinde Mactera marka AC projeksiyon elektrik direnç nokta kaynak makinesi kullanılmıştır. Tüm numunelerde Ø6 mm çaplı G tipi bakır elektrik direnç nokta kaynağı kepleri kullanılmıştır. Bütün kaynaklarda sıkma zamanı ve kaynak sonu tutma zamanı 50 ms olarak uygulanmıştır. Kaynak makinesine ait özellikler Tablo 4'te verilmiştir. Şekil 5.a'da ise kaynak makinesine ait görseller yer almaktadır.

Tablo 4. Kaynak Makinesi Bilgileri (Welding Machine Information)

Anma Gücü (%50)	250 kVA
Çalışma Basıncı	6 bar
Besleme Gerilimi	380 V
Kumanda Gerilimi	24 V
Soğutma Suyu Debisi	20 lt/dak
Kuvvet Sağlama Ekipmanı	Ø160 mm pnömatik silindir

**Şekil 5.** Deneylerde Kullanılan a) Mactera Marka Kaynak Makinesi b) Çekme Test Cihazı (Equipments Used a) Mactera Brand Welding Machine b) Tensile Testing Machine)

Numunelerin çekme testleri Şekil 5.b'deki WDW 100 elektronik universal test cihazıyla yapılmıştır. Çekme testi 250 kN kapasiteli çekme test cihazında 5 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı numuneler ve ASTM çekme numunelerine ait kuvvet-uzama değerleri kaydedilmiştir.

Kaynaklı numunelerin çekme testinden elde edilen sonuçlar ile Taguchi yöntemine dayalı çok amaçlı optimizasyon gerçekleştirilmiştir. "En büyük en iyi" kriteriyle hesaplanan S/N oranları, parametre seviyelerinin konum ve

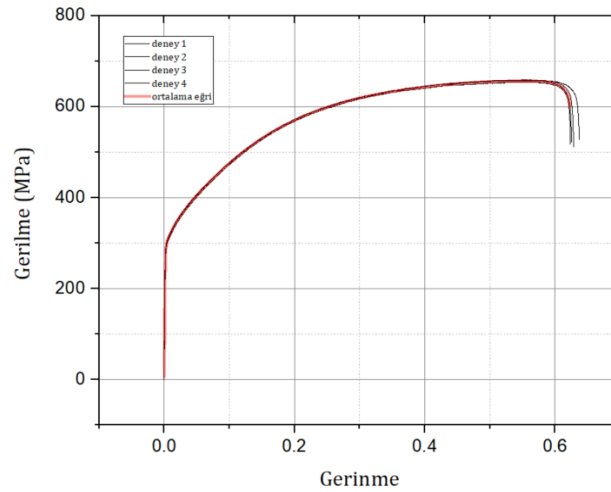
dağılıma etkilerinin birbirine karışmasını önlemek amacıyla Eşitlik (5) kullanılarak normalleştirilmiştir (Tutar vd., 2017):

$$\text{Normalleştirilmiş } S/N = \frac{S/N_p - S/N_{min}}{S/N_{mak} - S/N_{min}} \quad (5)$$

Burada S/N_p deney setinde her parametre için hesaplanan S/N oranıdır. Çekme kuvveti ve uzama miktarının normalize edilmiş S/N değerlerinin ortalaması alınarak Taguchi optimizasyonu uygulanmıştır. Ayrıca çekme kuvveti ve uzama değerleri için normalize edilmiş S/N oranlarının ortalaması, etki değerleri %50 çekme kuvveti ve %50 uzama miktarı olacak şekilde hesaplanmıştır. Daha sonra tekil parametrelerin etkisi tespit edebilmek için ANOVA tablosu oluşturulmuştur.

4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

ASTM E8/E8M standardına göre hadde yönünde üretilen 5 numuneye ait mühendislik gerilme-gerinme eğrisi ve ortalama eğri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Hadde Yönü İçin Mühendislik Gerilme-Gerinme Eğrileri ve Ortalama Eğri (Engineering Stress-Strain Curves and Mean Curve for the Rolling Direction)

Tablo 5. Kaynaklı Numunelerin Isı Girdisi İndeksi (İGİ) Değerleri, Çekme Kuvvetleri, Uzama Miktarı, Hesaplanan S/N Oranları (Heat Input Index Values, Tensile Forces, Elongation, Calculated S/N Ratios of Welded Samples)

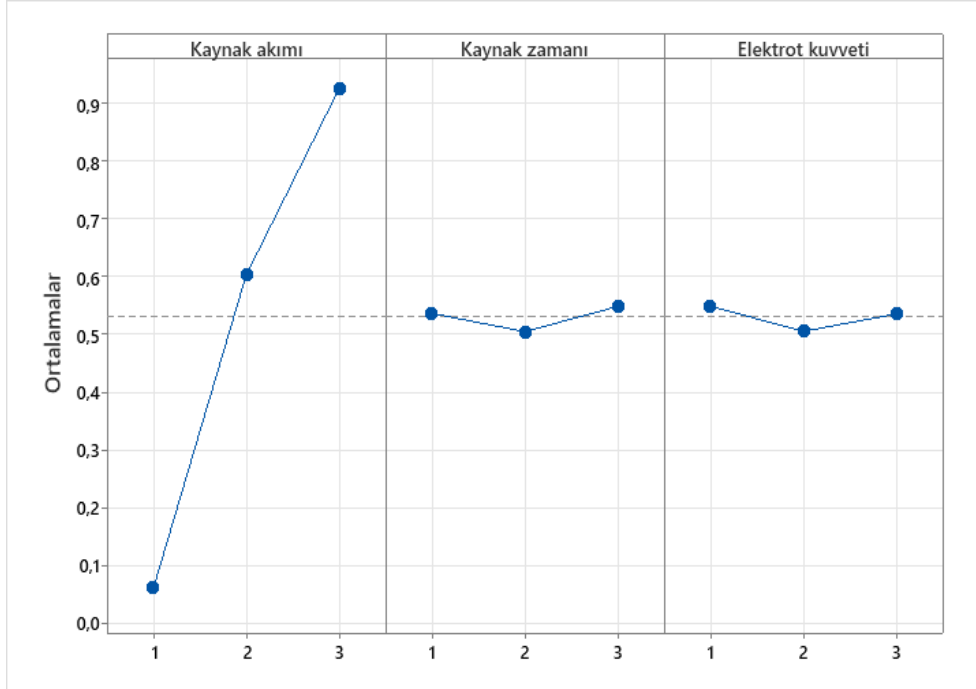
Numune Adı	İGİ	Çekme Kuvveti (kN)	Uzama Miktarı (mm)	Çekme Kuvveti ve Uzama Değerleri için normalize edilmiş S/N Oranlarının Ortalaması
111	144,00	10,09	4,95	0,165
122	270,00	9,18	4,01	0,004
133	480,00	9,13	4,14	0,012
212	451,25	12,42	7,80	0,513
223	902,50	13,30	9,99	0,664
231	722,00	13,19	9,45	0,636
313	1126,66	15,49	14,49	0,933
321	1014,00	14,82	12,79	0,848
332	1690,00	16,11	15,85	1,000

Kaynaklı numunelerin hasar olduğu andaki çekme kuvveti ve uzama değerleri normalleştirilmiş S/N oranlarının ortalaması ile birlikte Tablo 5'te verilmiştir. Ayrıca ısı girdisi değeri (2) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır. Kaynak parametrelerinin S/N oranlarına etkileri Tablo 6'da verilmiştir. Bu tablo her parametrenin etki seviyesini göstermektedir. Kaynak parametrelerinin önem sırası, kaynak akımı, elektrot kuvveti ve kaynak zamanı şeklindedir. Tablo 6'daki değerler kullanılarak Şekil 7'de kaynak parametrelerinin normalleştirilmiş S/N oranlarına etkisi grafik olarak gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde kaynak zamanı ve elektrot kuvveti parametre etkilerinin benzer davranışlar gösterdiği görülmektedir. Tablo 6'da kaynak parametrelerinin optimum seviyelerine bakıldığında kaynak akımı 13 kA, kaynak zamanı 20 çevrim (100 ms) ve elektrot kuvveti için 1,5 bar (184 daN) olarak değerler bulunmuştur. Taguchi hesaplamalarından elde edilen bu optimum seviyeler deney setinde

bulunmamaktadır. Fakat Tablo 6'daki değerler incelendiğinde kaynak akımı en baskın parametre olduğu ve diğer parametre sonuçları aralarında oldukça düşük bir fark oluşturduğundan dolayı 9 numaralı deneye denk olduğu görülmektedir.

Tablo 6. Kaynak Parametrelerinin Normalize S/N Oranlarına Etki Seviyeleri (Effect Levels of Welding Parameters on Normalized S/N Ratios)

Seviye	Kaynak akımı	Kaynak zamanı	Elektrot kuvveti
1	0,060	0,537	0,550*
2	0,604	0,505	0,506
3	0,927*	0,549*	0,536
Maks.-Min.	0,867	0,044	0,044
Sıralama	1	3	2



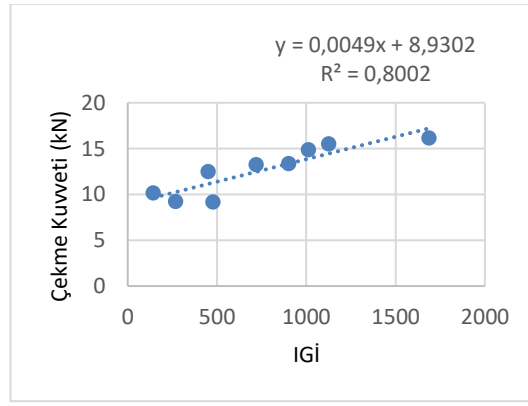
Şekil 7. Kaynak Parametrelerinin Normalize S/N Oranlarına Etkileri (Effects of Welding Parameters on Normalized S/N Ratios)

Çekme kuvveti ve uzama üzerindeki tekil kaynak parametrelerinin etkisini saptamak amacıyla ANOVA tablosu oluşturulmuştur. Tablo 7'de verilen sonuçlar incelendiğinde parametrelerin tekil analizinde etkili parametrenin %96,58 katkı payı ile kaynak akımı olduğu görülmektedir. Kumar ve Eapen (2021) çalışmasında da AISI 304 paslanmaz çeliğinde en etkili parametre olarak kaynak akımını tespit edilmiş olup, bu sonuç ile uyumluluk göstermektedir. Sonuçlara göre kaynak zamanı ve elektrot kuvveti parametreleri kaynak akımı parametresine göre etkileri çok düşük çıkmıştır. Bu durumun Taguchi sonuçlarıyla tutarlı olduğu görülmektedir.

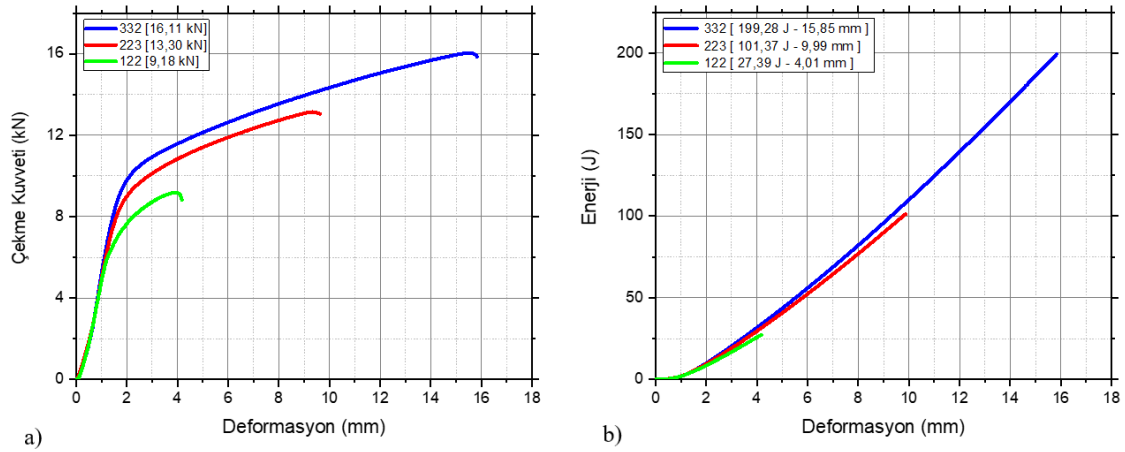
Tablo 7. Normalize edilmiş S/N oranları için oluşturulan ANOVA tablosu (ANOVA table for normalized S/N ratios)

	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	% Katkı
Kaynak akımı	2	1,1512	1,1512	0,57558	33,18	96,58
Kaynak zamanı	2	0,0030	0,0030	0,00153	0,09	0,26
Elektrot kuvveti	2	0,0030	0,0030	0,00150	0,09	0,25
Kalan hata	2	0,0347	0,0347	0,01734		2,91
Toplam	8	1,1919				100,00

Birleştirmede akım şiddeti yükseldikçe ısı girdisinin artması sonucu kaynak çekirdek boyutunun büyüdüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca bu durum Sao ve Banchor (2016) tarafından yapılan çalışmada da görülmüştür. Kaynak akım şiddetine bağlı olarak artan çekme kuvveti kaynak çekirdek boyutuyla ilişkilendirilebilir. Isı girdisine bağlı olarak çekme kuvveti değişimi Şekil 8'de gösterilmiştir. Isı girdisi arttıkça çekme kuvveti genellikle artmaktadır. Isı girdisi ve çekme kuvveti arasındaki lineer korelasyon katsayısı (R^2) 0,7'nin üzerindedir. Bu durum ısı girdisi artışıyla çekme kuvveti artışının birbiriyle bağlantılı olduğunu göstermektedir. Benzer sonuç Yüce (2021) tarafından da elde edilmiştir.



Şekil 8. Çekme Kuvvetinin Isı Girdisiyle Değişimi (Variation of Tensile Force With Heat Input)



Şekil 9. Farklı kaynak parametrelerine sahip birleştirilmiş numunelerin a) Kuvvet-Uzama Eğrileri b) Enerji-Uzama Eğrileri (Tablo 3'de 2, 5, 9 nolu numuneler) (a) Tensile Force-Elongation b) Energy- Elongation Curves of Welded Specimens with Different Welding Parameters (Samples 2, 5, 9 in Table 3))

Deney setinde sinyal gürültü oranını maksimum, minimum ve ortalama bir değer veren farklı kaynak parametrelerine sahip numunelerin Şekil 9.a'da paylaşılan çekme kuvveti-deformasyon eğrileri verilmiştir. Bu eğrilerden elde edilen enerji sönümlenme kapasitesini gösteren grafikler Şekil 9.b'de verilmiştir. Ayrıca Şekil 9.a ve 9.b'deki eğrilere sahip numunelerin çekme deneyi sonrası görüntüsü Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Farklı kaynak parametrelerine sahip birleştirilmiş numunelerin çekme testi sonrası görüntüsü; a) 2 numaralı deney (122) b) 5 numaralı deney (223) c) 9 numaralı deney (332) (After tensile test image of the combined samples with different welding parameters; a) Experiment 2 (122) b) Experiment 5 (223) c) Experiment 9 (332))

5. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, kaynak numuneleri ve gerçekleştirilen testler incelendiğinde genel olarak elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilen numunelerde akım şiddeti arttıkça ısı girdisi indeksi artmaktadır. Bunun kaynak çekirdek boyutunu arttırdığı buna bağlı olarak çekme kuvvetinin artışı ile kaynak dayanımını yükselttiği saptanmıştır.
- Maksimum kaynak akım şiddeti değeri aşıldığı takdirde kaynak çekirdeğinde erime dolayısıyla çökme ve sıçrama hatasının meydana gelmesi söz konusu olabilir.
- Kaynak akım şiddeti parametresi kaynak zamanı ve elektrot kuvveti parametrelerine göre kaynak dayanımını daha fazla etkilemiştir. Bağlantıların çekme kuvveti akım şiddeti arttıkça artmaktadır. En yüksek çekme kuvveti 16,11 kN olarak ve 13 kA akım değerinde elde edilmiştir. Fakat elektrik direnç nokta kaynağı ile 1,2 mm AISI 304 paslanmaz çelik sac birleştirme işlemi için daha yüksek akım şiddeti değeri seçimi çökme ve sıçratma hatası nedeniyle önerilmemektedir.
- Taguchi analizine göre kaynak parametrelerinin önem sırası: kaynak akımı > elektrot kuvveti > kaynak zamanı olarak tespit edilmiştir. Etkisi kaynak akım parametresine göre oldukça düşük olan kaynak zamanı ve elektrot kuvveti parametrelerinin etkileri birbirine oldukça yakın sonuç vermiştir.
- Yapılan bu çalışmada paslanmaz çeliklerin daha çok otomotiv sektöründe yapısal olarak kullanımının artmasına yönelik olduğu düşünüldüğünde kaynak sonrası bölgede %40 seviyelerinde belirtilen çökme miktarı görsel olarak yapısal parçalar üzerinde estetik açıdan rahatsız etmeyecek ölçüde olacağı yönündeki kararıyla parametrelerin oluşturulmuş olup bu durum göz önüne alınarak parametrelerin kullanımı önerilmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından FHIZ-2021-372 nolu proje kapsamında ve Mactera Birleştirme Teknolojileri tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar (References)

- Altun, Y., & Özcan, M. (2015). Ütü Masası Üretiminde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(2), 85-90.
- ASTM International. (2016). ASTM E8/E8M-16a . *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. https://doi.org/10.1520/E0008_E0008M-16A
- Bina, M. H., Jamali, M., Shamanian, M., & Sabet, H. (2014). Investigation on the resistance spot-welded austenitic/ferritic stainless steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1371-1379. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6220-x>
- Bina, M. H., Jamali, M., Shamanian, M., & Sabet, H. (2015). Effect of welding time in the resistance spot welded dissimilar stainless steels. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 68(2), 247-255. <https://doi.org/10.1007/s12666-014-0452-1>
- Çavdar, K., Yaşar, H., & Şahin, U. O. (2017). AISI 304 paslanmaz çeliğin direnç nokta kaynağı yöntemi ile izsiz kaynak parametrelerinin araştırılması. *X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*. Ankara: TMMOB.
- Çetin, M. H., Korkmaz, Ş., Elgaddafi, K. A., & Çuğ, H. (2018). Östenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çeliğin kaynak edilebilirliğinin araştırılması ve kaynak parametrelerinin optimizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1068-1081.
- Emre, H. E. (2019). Taguchi Yöntemi ile Nokta Direnç Kaynaklı TWIP Çeliklerin Dayanım Optimizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 778-787.
- İç, Y. T., & Yıldırım, S. (2012). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Birlikte Taguchi Yöntemini Kullanarak Bir Ürünün Tasarımının Geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), 447-458.
- Karcı, F. (2008). Soğuk Deformasyon ve Kaynak Isı Girdisinin AISI 304 Paslanmaz Çelik Direnç Kaynak Kalitesine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. Türkiye: Karabük Üniversitesi.
- Kaya, N. (2010). AISI 304 Paslanmaz Çelik ile Genel Yapı Çeliğinin Sürtünme Kaynak Kabiliyetinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*. Türkiye: Gazi Üniversitesi.
- Kayabaşı, O., & Çakmak, H. (2019). Yaklaşık Çözüm Tekniklerini Kullanarak Plastik Enjeksiyon İşlemlerinin Tasarım Metodolojisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(3), 627 - 638.
- Kumar, J. P., & Eapen, J. V. (2021). Investigation on Joining AISI 304 Stainless Steel by Resistance Spot Welding. *International Conference on Combinatorics and Optimization*. Chennai: European Alliance for Innovation. <https://doi.org/10.4108/eai.7-12-2021.2314648>
- Kumar, S., Satsangi, P. S., & Prajapati, D. R. (2011). Optimization of green sand casting process parameters of a foundry by using Taguchi's method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55, 23-34. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-3029-0>
- O'Brien, A., & American Welding Society. (2015). *Welding handbook, Materials and applications* (Ninth edition ed., Vol. 5). American Welding Society.
- Phillips, D. H. (2016). *Welding Engineering: An Introduction*. Chichester: John Wiley & Sons.

- Placidi, F., & Frascchetti, S. (2005). *Potential Application of Stainless Steel for Vehicle Crashworthiness Structures*. Retrieved Mart 20, 2022, from Phase Transformations & Complex Properties Research Group: www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/2005/LINK/142.pdf
- Pouranvari, M. (2011). Effect of Resistance Spot Welding Parameters on the HAZ Softening of DP980 Ferrite-Martensite Dual Phase Steel Welds. *World Applied Sciences Journal*, 15(10), 1454-1458.
- Sao, M., & Banchor, R. (2016). Optimization of Resistance Spot Weld Parameters using Grey Relational Analysis. *International Journal for Scientific Research & Development*, 4(10), 372-378.
- Sinnes, K., & Welding Handbook Committee. (2018). *Welding Handbook, Welding and cutting science and technology* (Tenth Edition ed., Vol. 1). Miami: American Welding Society.
- Turgut, E., & Dikici, A. (2011). Eş Eksenli Bir Isı Değiştiricisinin Tasarım Parametrelerinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, (pp. 278-281). Elazığ.
- Tutar, M., Aydin, H., & Bayram, A. (2017). Multi objective Taguchi optimization approach for resistance spot welding of cold rolled TWIP steel sheets. *The 6th International Conference on Manufacturing Engineering and Process*. 885, pp. 53-57. Lisbon: IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series.
- Tutar, M., Aydin, H., Yuce, C., Yavuz, N., & Bayram, A. (2014). The optimisation of process parameters for friction stir spot-welded AA3003-H12 aluminium alloy using a Taguchi orthogonal array. *Materials and Design*, 789-797.
- Yuce, C. (2021). Multi-objective optimisation for indentation rate, nugget diameter and tensile load in resistance spot welding using Taguchi-based grey relational analysis. *International Journal of Materials and Product Technology*, 63(4), 321-338.



3 BOYUTLU BASKIDA DOLGU BİÇİMİNİN ÇEKME DAYANIMINA ETKİSİ

Özbil Özmen^{1*}, Hasan Kemal Sürmen², Aziz Sezgin¹

¹İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34320, İstanbul, Türkiye
²İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, TBMYO, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknoloji Bölümü, 34500, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Eklemeli İmalat,
Ergiterek Yığıma ile
Modelleme (FDM),
Polilaktik Asit (PLA),
Dolgu Deseni,
Çekme Dayanımı.*

Öz

Bu çalışmada 3B baskı teknolojilerinden biri olan ergiterek yığıma ile modelleme (FDM) üretim teknolojisi ve polilaktik asit (PLA) malzemesi kullanılarak farklı dolgu deseni ve yönüne sahip çekme testi numuneleri üretilmiş ve dolgu deseni ve yönünün çekme dayanımına olan etkileri incelenmiştir. Beş farklı dolgu deseni (eş merkezli, ızgara, üçgen, 3B altıgen, zik zak) ve üç farklı dolgu desen açısına (0°, 45°, 90°) sahip aynı ağırlıkta 10 adet numune ve bir adet de tam dolu numune FDM teknolojisi ile basılarak toplam 11 adet numune üretilmiştir. Tüm numunelere mekanik çekme testi uygulanmıştır. Mekanik çekme testi sonucunda; ikinci (90° dolgu desen açılı, eş merkezli) ve on birinci (90° dolgu desen açılı, zik zak) numunelerin aynı ağırlıktaki diğer numunelere göre daha yüksek dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu numunelerin yüksek dayanıma sahip olması, baskı desen yönünün çekme yönüyle bağlantılı olduğunu ve dolayısıyla baskı desen açılarının ve yönlerinin uygulanan kuvvetler doğrultusunda seçilmesinin büyük avantaj sağladığını göstermektedir. Ayrıca %30 doluluk oranındaki ikinci numunenin %100 doluluk oranına sahip birinci numuneye göre özgül dayanımının yaklaşık %25 oranında daha yüksek olduğu çekme testi sonucunda gözlemlenmiştir. Bu çalışma göstermiştir ki 3B baskı prosesinde dolgu tipi ve açısının parçaların çalışma ve yüklenme durumlarına göre planlanmasıyla daha yüksek dayanıma sahip, hafif ve daha az maliyetli tasarımlar elde edilebilir.

THE EFFECT OF INFILL PATTERN IN 3-DIMENSIONAL PRINTING ON TENSILE STRENGTH

Keywords

*Additive Manufacturing,
Fused Deposition Modeling
(FDM),
Polylactic Acid (PLA),
Infill Pattern,
Tensile Strength.*

Abstract

In this study, test specimens with different infill patterns and orientations were manufactured by using one of the 3D printing technologies, Fused Deposition Modeling (FDM) manufacturing technology, and polylactic acid (PLA) material, and the effects of the infill pattern and direction on the tensile strength were investigated. 10 samples of the same weight with five different infill patterns (concentric, grid, triangle, 3D hexagon, zig-zag) and three different infill pattern angles (0°, 45°, 90°) and one solid sample (100% infill) were fabricated with FDM technology. A mechanical tensile test was applied to all specimens. As a result of the mechanical tensile test; it was determined that the second specimen (90° infill pattern angle, concentric) and eleventh specimen (90° fill pattern angle, zig zag) had higher strength than the other specimens with the same weight. It has been seen that the high strength of the concentric specimen is related to the direction of the infill pattern, and therefore the selection of the infill pattern angles and directions in the direction of the applied forces provides a great advantage. In addition, as a result of the tensile test, it was observed that the specific strength of the second specimen with 30% infill was approximately 25% higher than the first specimen with 100% infill. This study has shown that more durable, lighter and low-cost designs can be achieved by planning the infill type and angle for the 3D printing process according to the working and loading conditions.

* İlgili yazar / Corresponding author: ozbil.ozmen@ogr.iuc.edu.tr, +90-507-872-3274

Alıntı / Cite

Özmen, Ö., Sürmen, H.K., Sezgin, A., (2023). 3 Boyutlu Baskıda Dolgu Biçiminin Çekme Dayanımına Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 336-348.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Ö. Özmen, 0000-0001-8813-5097
H.K. Sürmen, 0000-0001-8045-9193
A. Sezgin, 0000-0001-6861-5309

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	30.03. 2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	26.09. 2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	14.10. 2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03. 2023

THE EFFECT OF INFILL PATTERN IN 3 DIMENSIONAL PRINTING ON TENSILE STRENGTH

Özbil Özmen^{1†}, Hasan Kemal Sürmen², Aziz Sezgin

¹Istanbul University-Cerrahpasa, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 34320, Istanbul/Turkey

²Istanbul University-Cerrahpasa, Vocational School of Technical Sciences, Department of Motor Vehicles and Transportation Technologies, 34500, Istanbul/Turkey

Highlights

- Tensile tests of 11 3D printed samples with different infill types and infill angles were performed
- Samples with infill patterns of concentric (90°) has the highest specific strength
- Adjusting the infill configuration according to the working conditions provides a great advantage

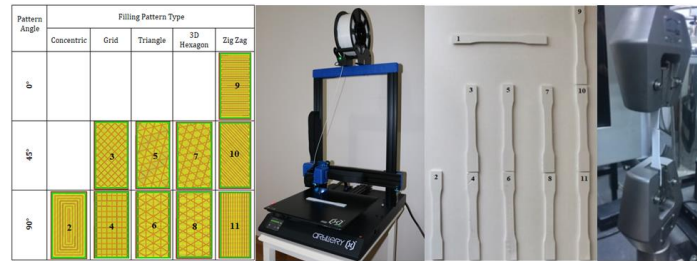
Graphical Abstract

Figure. Steps for investigating the effect of infill pattern in 3D printing

Purpose and Scope

This study aims to investigate the effects of the infill type and direction on the tensile strength of the 3D printing samples and find a relation with the specific strength. Thus, the 3D printing process was evaluated in terms of lightweight and durability.

Design/methodology/approach

10 specimens of the same weight and one fully filled specimen with five different infill patterns (concentric, grid, triangle, 3D hexagon, zig-zag) and three different infill pattern angles (0°, 45°, 90°), a total of 11 specimens were manufactured by printing with FDM technology. Mechanical tensile test was performed for all specimens and results were compared.

Findings

It was found that the second specimen (90° infill pattern angle, concentric) had the highest strength with a maximum tensile stress of 29.85 MPa among the specimens with the same weight. In addition, it was determined that the fifth specimen (45° infill pattern angle, triangular) had the lowest strength with a maximum tensile stress of 19.41 MPa. Approximately, the difference between these two results was greater than 1.5 times. The highest specific strength is the second specimen (concentric, 90°) with 4.98 MPa/g and the lowest specific strength is the fifth specimen (triangle, 45°) with 3.24 MPa/g. Similar results was seen with the comparison of the specific strengths. It was determined that the specific strength of the second specimen with 30% infill was approximately 25% higher than the first specimen with 100% infill.

[†] Corresponding author: ozbil.ozmen@ogr.iuc.edu.tr, +90-507-872-3274

Research limitations/implications

The limited number of specimens can be stated as a limitation of this study. By increasing the number of specimens and test repetitions, the effect of different pattern types and angles on tensile strength can be evaluated in future studies. In this study, each of the samples with different patterns was designed with the same weight to examine the specific strengths. However, the distance between the fillings varied for each pattern. It should be noted that this may affect the results.

Practical implications

In this study, tensile tests of eleven 3D printed samples with different infill types and infill angles were performed. Adjusting the infill configuration according to the working and loading conditions provides a great advantage.

Social Implications

This study has shown that more durable structures can be manufactured with less time and material in the 3D printing process. Therefore, environmental pollution can be reduced and efficient use of time can be achieved.

Originality

In this study, the effects on the strength of 3D printed parts were investigated by considering the infill pattern type, angles and directions.

1. Giriş (Introduction)

Üç boyutlu (3B) baskı günümüzde kullanım alanı hızla artan, tasarım aşamasından imalat aşamasına doğrudan geçişin sağlanabildiği pratik bir imalat yöntemidir (Gibson vd., 2015; Bozkurt vd., 2021). 3B baskı (eklemeli imalat) yöntemi dâhilinde birbirinden farklı yaklaşımlarla imalat yapan birçok teknoloji geliştirilmiştir. Ergiterek yığma ile modelleme (FDM), steryolitografi (SLA), seçmeli lazer sinterleme (SLS), elektron ışınli ergitme (EBM), dijital ışık işleme (DLP), lamine nesne imalatı (LOM) gibi çeşitli 3B imalat yöntemleri otomotiv, havacılık, biyomedikal, tıp, gıda ve eğlence gibi farklı sektörlerde ihtiyaçlara cevap vermektedir (Dizon vd., 2018; Sürmen, 2019). Bu teknolojiler arasında FDM teknolojisi; kullanım kolaylığı, düşük maliyet, çevre dostu olması, çeşitli ve çok sayıda masaüstü tipi yazıcı modelinin olması gibi özelliklerinden dolayı en çok tercih edilen 3B baskı teknolojisidir (Sürmen, 2019). FDM teknolojisinde parçalar, filament halindeki malzemenin ekstrüder tarafından eritilerek yığılması ile elde edilen katmanların birbiri üzerine eklenmesiyle imal edilirler (Kozior ve Kundera, 2017; Mazurchevici vd., 2020). FDM teknolojisi ile çalışan 3B yazıcılarda yaygın olarak polilaktik asit (PLA), akrilonitril bütadien stiren (ABS), polikarbonat (PC), termoplastik poliüretan (TPU), naylon gibi termoplastik malzemeler kullanılmaktadır (Harshitha ve Rao, 2019; Dey ve Yado, 2019). Polilaktik asit (PLA) filamenti, mısırs nişastası gibi yıllık olarak yenilenebilir kaynaklardan üretildiğinden dolayı diğer filamentlere göre daha çevre dostudur (Iwata, 2015). PLA filamenti kolay temin edilebilen ve ABS filamentine göre daha az duman ve koku açığa çıkarması sebebiyle de daha çok tercih edilen bir termoplastik malzemedir (Pakkanen vd., 2017).

FDM teknolojisi ile üretilen parçaların özgül dayanımı, maliyeti, üretim süresi gibi özellikleri; dilimleme yazılımında girilen dolgu yoğunluğu, dolgu deseni gibi parametrelerle belirlenebilmektedir (Günay vd., 2020). Dolgu yoğunluğu parçanın iç-yapısındaki boşlukların ne kadar doldurulacağını belirleyen parametredir. Dolgu yoğunluk yüzdesi ne kadar yüksekse parça imalatı o kadar uzun sürer. Dolgu yoğunluk yüzdesi ne kadar düşük ise parça daha hafif olur ve daha kısa sürede üretilir. Dolgu yoğunluğu parçanın mukavemetini de doğrudan etkiler (Yarwindran vd., 2006).

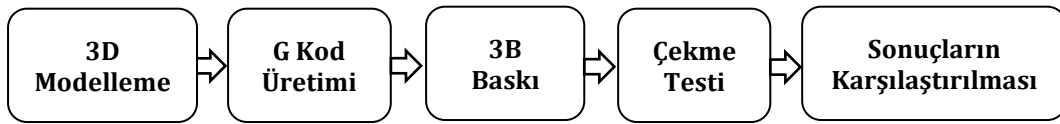
3B baskı teknolojilerinin yaygınlaşması ve bu teknolojilerin fonksiyonel parçaların üretiminde giderek daha çok kullanılması, araştırmacıları dolgu yoğunluğu, dolgu deseni ve dolgu desen yönü gibi parametrelerin üretilen parçaların mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemeye yöneltmiştir. Bacak ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmada FDM teknolojisi ile PLA filamentini kullanarak farklı baskı hızı, farklı sıcaklık ve farklı dolgu yoğunluğuyla üretilen numunelerin mekanik özelliklerini tespit etmişlerdir (Bacak vd., 2021). Hanon ve arkadaşları ise yapmış oldukları çalışmada; FDM teknolojisiyle farklı baskı parametrelerinin kullanarak PLA ve HT-PLA olmak üzere iki farklı malzeme ile üretilen çekme testi numunelerinin mekanik özelliklerini tespit etmişlerdir (Hanon vd., 2021). Cristian ve Laszlo'nun FDM teknolojisi kullanılarak yaptıkları bir diğer çalışmada ise; çeşitli desen tipleri ile ABS malzemesi kullanılarak 3B baskı ile üretilen numunelerin mekanik özellikleri değerlendirilmiştir (Cristian ve Laszlo, 2017).

Bu çalışmada, FDM 3B baskı teknolojisi ve PLA malzemesi kullanılarak farklı yönlere sahip farklı tipteki dolgu desenlerinin çekme dayanımına etkisi incelenmiştir. Aynı ağırlıktaki farklı dolgu yoğunluklarına, farklı dolgu desenlerine (eş merkezli, izgara, üçgen, 3B altıgen, zik zak) ve farklı dolgu desen açalarına (0°, 45°, 90°) sahip 10 adet numune ile %100 doluluk oranına sahip bir numune 3B yazıcıda basılarak üretilmiştir. Üretilen tüm numunelere mekanik çekme testi uygulanarak çekme gerilmeleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar

karşılaştırılarak dolgu deseni ve dolgu yönünün çekme dayanımına olan etkileri incelenmiştir. Bu çalışma ile özellikle yük altında fonksiyonel olarak kullanılmak üzere 3B baskı ile üretilecek parçaların dilimleme yazılımında desen tiplerinin ve yönlerinin daha doğru bir şekilde belirlenebilmesi için önemli bulgular elde edilmiş ve literatüre katkı sağlayacak değerlendirmeler yapılmıştır.

2. Malzeme ve Deneysel Yöntem (Material and Experimental Method)

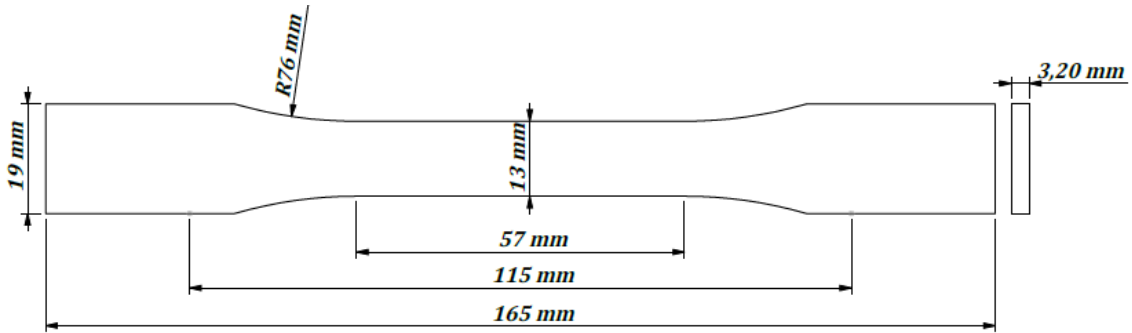
Çekme testi numunelerinin 3B modeli, plastik malzemelerin çekme özelliklerini belirlemek için kullanılan ASTM D638 test yöntemi (ASTM International, 2015) standardına uygun olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan numunenin katı modeli Ultimaker Cura® dilimleme yazılımına aktarılmıştır. Dilimleme programında nozul çapı, katman yüksekliği, duvar kalınlığı, baskı sıcaklığı, levha sıcaklığı, yazdırma sıcaklığı gibi baskı parametreleri tüm numuneler için eşit olup dolgu deseni, dolgu desen açısı ve dolgu yoğunluğu gibi parametreler değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Baskı parametreleri ayarlanan numunelerin G kodları oluşturulmuş ve üretime hazır hale getirilerek 3B yazıcıya aktarılmıştır. FDM teknolojisi ile PLA malzemesini kullanarak 3B yazıcıda 11 adet çekme testi numunesi üretilmiştir. 3B yazıcıda üretilen her bir numuneye mekanik çekme testi uygulanmış ve deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın süreci Şekil 1'de gösterilen iş akış semasında olduğu gibi gerçekleşmiştir.



Şekil 1. İş akış şeması (Work flow diagram)

2.1. 3B Modelleme (3D Modeling)

Bu çalışmanın 3B modeli, ayrıntılı ölçüleri Şekil 2'de gösterildiği gibi, ASTM D638 Tip-1 (ASTM International, 2015) standart ölçülerinden yararlanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan numunenin 3B modeli STL formatında dilimleme yazılımına aktarılmıştır.




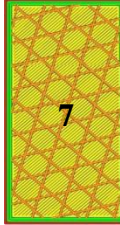


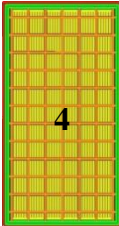
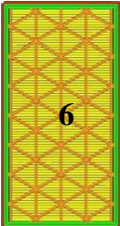




Şekil 2. Çekme testi uygulanan numunelerin geometrik özellikleri ve boyutları
(Geometric properties and dimensions of the specimens subjected to the tensile test)

2.2. G Kod Üretimi (G Code Generation)

Tablo 2'de gösterilen 3B baskı parametreleri Ultimaker Cura® dilimleme yazılımında seçilerek tüm numunelerin baskısında uygulanmıştır. Baskı hızı, katman kalınlığı, duvar kalınlığı, baskı sıcaklığı, tabla sıcaklığı gibi parametreler, numunemizin boyutları dikkate alınarak kullanılan yazıcının baskı özelliklerine, kullanılan malzeme türüne ve kullanılan filament markasına göre belirlenmiştir. Bu çalışmada farklı desen tipleri birbiriyle kıyaslandığı için 3B baskı parametreleri hepsi için sabit alınarak çalışma yürütülmüştür.

Tablo 1. Numune dolgu deseni tipleri (Specimen infill pattern type)

Desen Açısı	Dolgu Deseni Tipi				
	Eş Merkezli	Izgara	Üçgen	3D Altıgen	Zik Zak
0°					 9
45°		 3	 5	 7	 10
90°	 2	 4	 6	 8	 11

Şekil 3'te gösterilen birinci numunenin dolgu yoğunluğu %100 oranında düzenlenmiştir. 3B yazıcıda üretilen diğer 10 numunenin ağırlığı aynı olacak şekilde dolgu yoğunluğu, dolgu deseni ve desen açısı gibi parametreleri dilimleme yazılında değiştirilerek numunelerin baskı özellikleri oluşturulmuştur (Tablo 1).

2.3. 3B Baskı (3D Printing)

G kodları oluşturulan numuneler üretilmek üzere FDM teknolojisi ile çalışan bir 3B yazıcıya (Artillery Sidewinder X2) aktarılmıştır. Filament halindeki PLA malzemesinin ekstrüder tarafından 205°C baskı sıcaklığında eritilerek 55°C'deki levha üzerine yığılmasıyla elde edilen katmanların üst üste eklenmesi sonucunda numuneler elde edilmiştir.

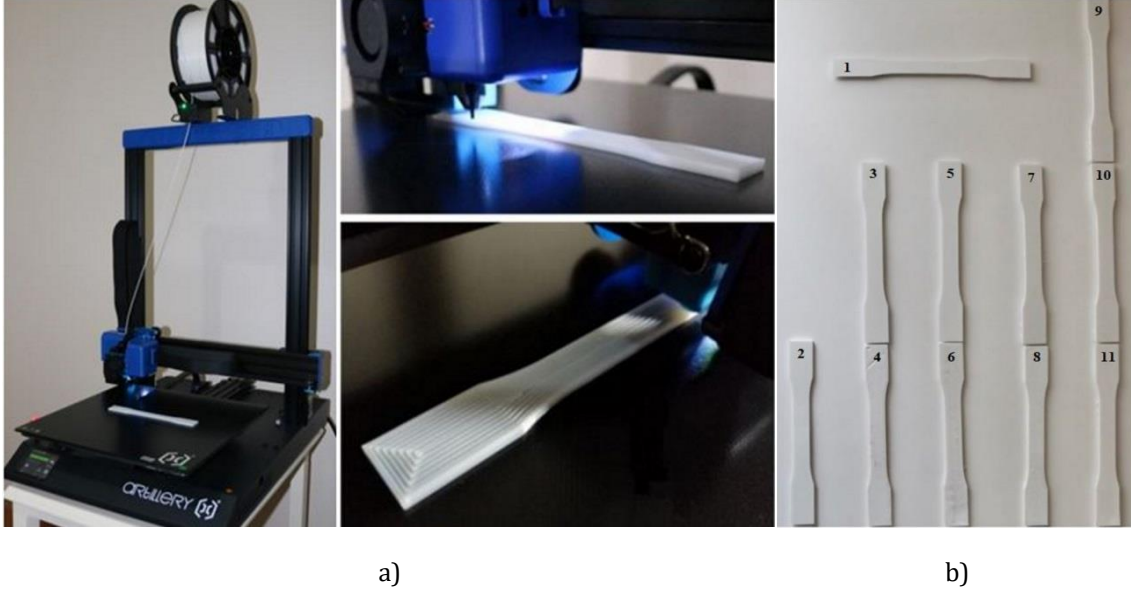
Tüm numuneler mekanik özellikleri Tablo 3'te belirtilen Ultimaker marka polilaktik asit (PLA) filamentini (Ultimaker PLA, 2017) kullanılarak 3B yazıcıda 5 farklı dolgu deseni ve 3 farklı dolgu desen açısıyla Şekil 3'te gösterildiği gibi toplam 11 adet olarak üretilmiştir.

Tablo 2. Numunelerin üretiminde kullanılan 3B baskı parametreleri (3D printing parameters used in the production of specimens)

Ayarlar	Parametreler	Birim	Değer
Kalite	Katman Yüksekliği	mm	0,2
	İlk Katman Yüksekliği	mm	0,3
Duvar	Duvar Kalınlığı	mm	1,2
	Duvar Hattı Genişliği	mm	0,4
Dolgu	Dolgu Şekli		Eş merkezli, Izgara, Üçgen, 3B altıgen, Zik zak
	Dolgu Desen Yönleri	°	0, 45, 90
	Dolgu Katman Kalınlığı	mm	0,2
Nozul	Nozul Ölçüsü	mm	0,4
	Uyumlu Malzeme Çapı	mm	1,75
Malzeme	Filament Tipi		PLA
	Filament Rengi		Beyaz
	Eklemeli İmalat Teknolojisi		FDM
	Baskı Sıcaklığı	°C	205
	Levha Sıcaklığı	°C	55
Hız	Yazdırma Hızı	mm/s	80
	Dış Duvar Hızı	mm/s	40
	İç Duvar Hızı	mm/s	60
Soğuma	Fan Hızı	%	100

Tablo 3. Çalışmada kullanılan PLA malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri (Ultimaker PLA, 2017)
(Physical and mechanical properties of PLA material used in the study)

Özellikler	Test Metodu	Değer, Birim
Özgül Ağırlık	ASTM D1505	1,24 g
Germe Katsayısı	ISO 527 (1 mm/min)	2346,5MPa
Akma Çekme Gerilimi	ISO 527 (50mm/min)	49,5 MPa
Kopma Çekme Gerilimi	ISO 527 (50mm/min)	45,6 MPa
Akma Uzaması	ISO 527 (50mm/min)	%3,30
Kopma Uzaması	ISO 527 (50mm/min)	%5,20
Eğilme Mukavemeti	ISO 178	103 MPa
Eğilme Katsayısı	ISO 178	3150 MPa



Şekil 3. a) Numunelerin 3B baskı yöntemi ile üretimi (Production of specimens by 3D printing method), b) Üretilmiş farklı dolgu deseni ve açılara sahip numuneler (Produced specimens with different filling patterns and angles)

2.4. Çekme Testi Deneyi (Tensile Test Experiment)

Mekanik çekme testi, farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla, genellikle numunenin kopuncaya kadar gerilmesini kapsamaktadır (Akın, 2006). Çekme testleri İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi bünyesinde bulunan Şekil 4'te gösterilen INSTRON marka test cihazı kullanılarak yapılmıştır.

3B yazıcıyla PLA filamentini kullanılarak üretilen 11 adet numunenin tamamına oda sıcaklığında 5mm/min hız ile çekme testi uygulanmıştır. Her bir numunenin mekanik çekme testi sonucunda, gerilim-gerinim grafikleri, maksimum çekme gerilmeleri ve % uzama değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 4. Çekme testinin numunelere uygulanışı (Application of the tensile test to specimens)

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Deneysel mekanik çekme testinin sonuçları da Tablo 4'te belirtilmiştir. Tek eksenli çekme testi uygulanan numunelerin ayrıntılı görselleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Çekme testi sonuçlarına göre; aynı ağırlıktaki 10 numune arasında 29.85 MPa maksimum çekme gerilmesi ile ikinci numunenin (90° dolgu desen açılı, eş merkezli) en yüksek dayanıma sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Aynı ağırlıktaki numuneler arasında 19.41 MPa maksimum çekme gerilmesi ile beşinci numunenin (45° dolgu desen açılı, üçgen) ise en düşük dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4. Mekanik çekme testi sonuçları (Mechanical tensile test results)

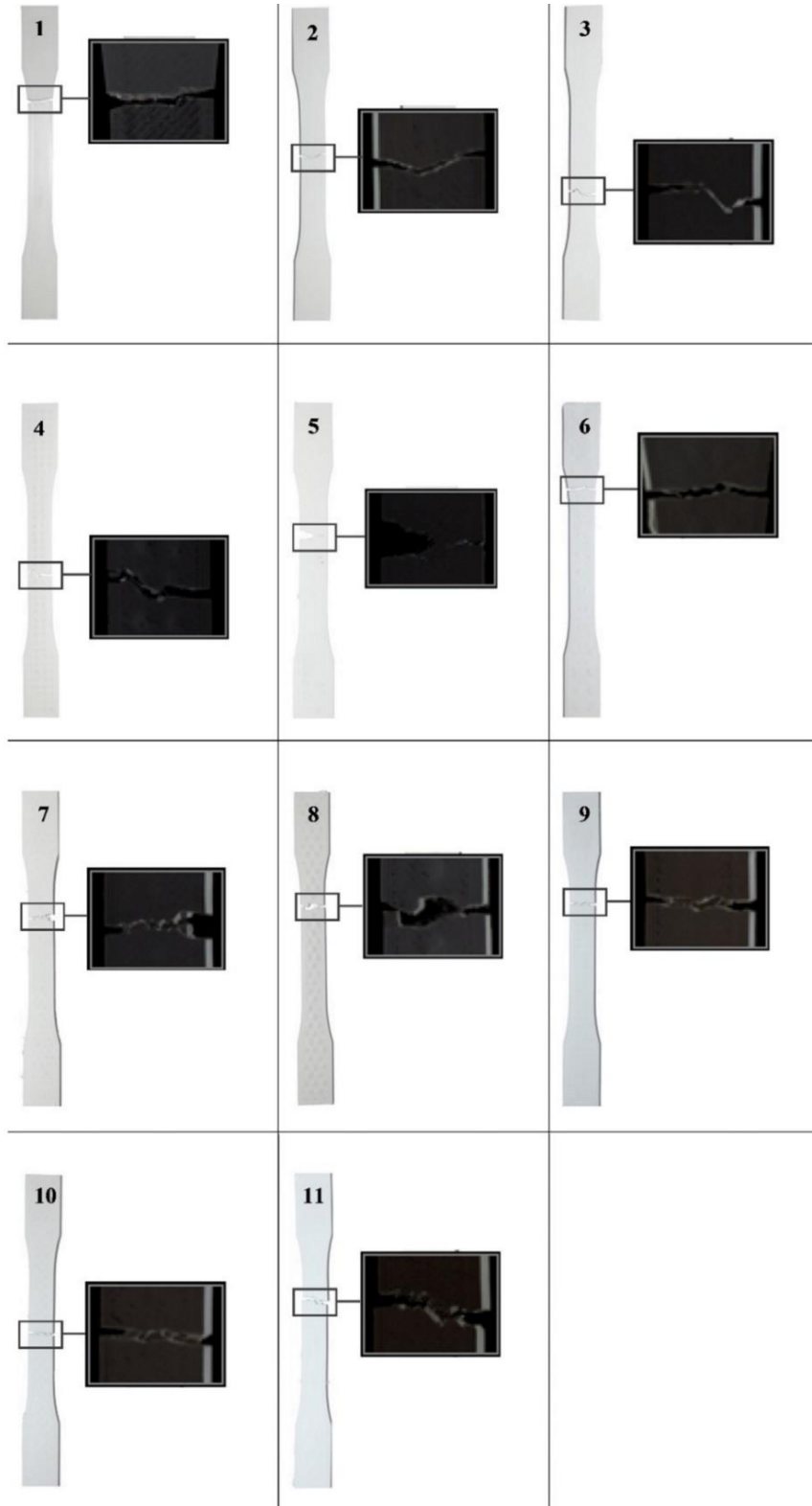
Numune No	Dolgu Deseni	Desen Açısı	Zaman [s]	Uzama [mm]	Uygulanan Yük [N]	Maksimum Çekme Gerilmesi (MPa)
1.	Tam Dolgu		29,50	2,45	1489,68	35,81
2.	Eş Merkezli	90°	30,80	2,56	1241,88	29,85
3.	Izgara	45°	29,00	2,41	903,86	21,73
4.	Izgara	90°	28,60	2,38	985,33	23,69
5.	Üçgenler	45°	28,10	2,34	807,51	19,41
6.	Üçgenler	90°	30,10	2,50	1036,01	24,90
7.	Üçlü Altıgen	45°	29,80	2,48	909,59	21,87
8.	Üçlü Altıgen	90°	26,80	2,23	912,19	21,93
9.	Zik Zak	0°	28,40	2,36	886,84	21,32
10.	Zik Zak	45°	30,20	2,51	919,97	22,12
11.	Zik Zak	90°	30,80	2,56	1138,07	27,36

Rismalia ve arkadaşlarının PLA malzemesi ile dolgu deseni ve dolgu yoğunluğunun çekme özelliğine olan etkisini araştırmışlardır (Rismalia vd., 2019). Araştırmacılar dolgu yoğunluğu arttıkça çekme dayanımının arttığını (Bacak vd., 2021; Rismalia vd., 2019) gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada da diğer numunelerle aynı geometrik boyutlarda tam dolu olarak basılan numune diğer numunelerden 1,5 kat daha ağırdır. Bu numuneye yapılan çekme testi sonucunda 35.81 MPa maksimum çekme gerilmesi elde edilmiştir. Ancak özgül dayanım dikkate alındığında ikinci, altıncı ve on birinci numunelerin daha dayanıklı olduğu görülmüştür.

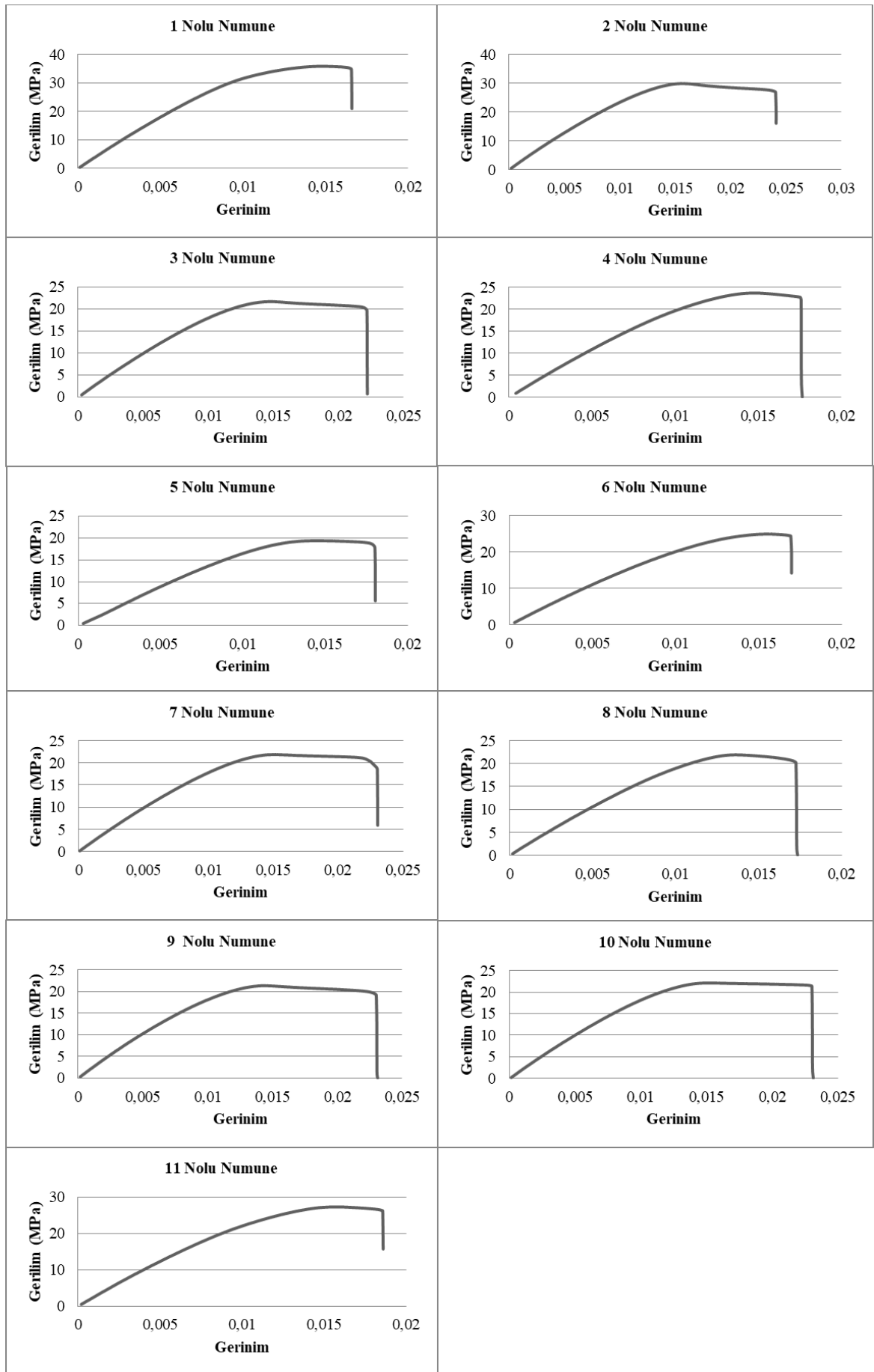
Numuneler arasındaki her bir dolgu desen tipinin desen açıları arasındaki dayanımı ile ilgili ilişkiye bakıldığında; ızgara, üçgen, üçlü altıgen, zik zak dolgu desen tiplerinin 90° desen açısındaki numunelerin 45° desen açısındaki numunelere göre daha dayanıklı olduğu mekanik çekme testi sonuçlarında görülmüştür. 45° dolgu desen açısına sahip numuneler arasındaki dayanım sırası zik zak > üçlü altıgen > ızgara > üçgen dolgu desenleri şeklindedir. 90° dolgu desen açısına sahip numuneler arasındaki dayanım sırası ise; eş merkezli > zik zak > üçgen > ızgara > üçlü altıgen dolgu desenleri şeklindedir.

Şekil 6'da numunelerin gerilim-gerinim grafiğinde, uygulanan yükler karşısındaki akma, çekme, kopma dayanımları, elastik ve plastik şekil değiştirdiği bölgeler gösterilmektedir. Grafikteki verilere ve Tablo 4'teki çekme testi sonuçlarına göre; ikinci numunenin (90° dolgu desen açılı, eş merkezli) ve on birinci numunenin (90° dolgu desen açılı, zik zak) uzama miktarları eşit olup, 2.56 mm uzama ile aynı ağırlıktaki diğer numuneler arasında en yüksek uzamaya sahip oldukları görülmektedir. Aynı ağırlıktaki numuneler arasındaki en az uzamanın 2.23 mm ile sekizinci numuneye (90° dolgu desen açılı, üçlü altıgen) ait olduğu tespit edilmiştir.

Her bir dolgu desen tipinin desen açıları arasındaki uzamayla ilgili ilişkisine bakıldığında, ızgara ve üçlü altıgen dolgu desen tiplerinde 45° dolgu desen açısına sahip numunelerdeki uzamanın 90° dolgu desen açısına sahip numunelerden daha fazla olduğu gözlemlenirken, üçgen dolgu desenine ait numunelerde ise tam tersi uzama durumu gözlemlenmiştir. Zik zak dolgu desen tipinin desen açıları arasındaki uzama sırası 90° > 45° > 0° şeklinde tespit edilmiştir.



Şekil 5. Tek eksenli çekme testi uygulanmış numuneler (Uniaxial tensile tested specimens)



Şekil 6. Numunelerin gerilim-gerinim grafikleri (Stress-strain plots of specimens)

Özgül dayanım, yoğunluğa göre bölünmüş bir malzemenin gücü anlamına geldiği gibi dayanım-kütle oranı olarak da bilinir. Çalışmadaki numunelerin hacimleri birbirine eşit olduğu için doğrudan kütleler değişkenlik göstermektedir. Özgül dayanım, mühendislikte tasarımının hafif ve dayanıklılığını gösteren bir parametredir. Beş farklı dolgu deseni ve üç farklı dolgu desen açısına sahip aynı ağırlıkta on numune ve bir adet de tam dolu numunenin özgül dayanımları arasındaki farkı göstermek için özgül dayanım ilişkisi incelenmiştir.

Şekil 7'de karşılaştırılan özgül dayanım değerlerine göre; en yüksek özgül dayanımın 4.98 MPa/g ile ikinci numunede (eş merkezli, 90°) olduğu ve en düşük özgül dayanım ise; 3.24 MPa/g ile beşinci numunede (üçgen, 45°) olduğu görülmüştür. Dolgu desen tiplerinin farklı desen açıları arasındaki ilişkisine göre; ızgara ve üçgen dolgu desen tiplerinde 90° desen açısındaki numunelerin 45° desen açısındaki numunelere göre daha yüksek özgül dayanıma sahip olduğu görülürken üçlü altıgen dolgu desenindeki 7. ve 8. numunelerin özgül dayanım değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Zik zak dolgu desenindeki 11, 10 ve 9. numunelerin özgül dayanım ilişkisi ise 90° > 45° > 0° desen açısı şeklindedir.



Şekil 7. Numunelerin özgül dayanımlarının karşılaştırılması (Comparison of specific strengths of specimens)

Bacak ve arkadaşlarının yaptığı çalışma sonucunda tam dolu numuneye en yakın özgül dayanıma sahip numunenin %20 doluluk oranındaki çapraz 3D dolgu desen tipine ait olduğu anlaşılmaktadır (Bacak vd., 2021). Bizim çalışmamızda ise, tam dolu numuneye en yakın özgül dayanıma sahip numunenin %30 doluluk oranındaki 90° ızgara dolgu desen tipindeki numuneye ait olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca %30 doluluk oranına sahip ikinci numunenin özgül dayanımının tam dolu oranına sahip birinci numuneden yaklaşık %25 oranında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7).

Sonraki çalışmalarda 3B baskı ile üretilmiş farklı geometrik özelliklere sahip parçalar için dayanım açısından en uygun dolgu deseninin belirlenmesi ve böylece parça geometrisine göre dolgu desen tipinin seçimi ile ilgili bir yaklaşım geliştirilebilir.

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada; FDM 3B baskı teknolojisi ve PLA malzemesi kullanılarak 3B yazıcıda çekme testi numuneleri üretilmiş, dolgu deseni ve desen yönünün çekme dayanımına olan etkileri incelenmiştir. 3B yazıcıda, farklı dolgu yoğunluklarına sahip, 5 farklı dolgu deseninde (eş merkezli, ızgara, üçgen, zik zak) ve 3 farklı dolgu desen açısında (0°, 45°, 90°) aynı ağırlıkta 10 adet numune ve bir adet de tam dolu numune ile birlikte 11 adet numune üretilmiştir. Tüm numunelere mekanik çekme testi uygulanmıştır. Deneysel mekanik çekme testi sonuçlarına göre; ikinci numunenin (90° dolgu desen açılı, eş merkezli) diğer 10 numune ile karşılaştırıldığında 29.85 MPa maksimum çekme gerilmesi ile en yüksek dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Aynı ağırlıktaki 10 numune arasında 19.41 MPa maksimum çekme gerilmesi ile dayanımı en düşük olan numunenin ise; beşinci numuneye (45° dolgu desen açılı, üçgen) ait olduğu tespit edilmiştir.

Rismalia ve arkadaşlarının yaptığı çalışma sonucunda PLA filamentinin aynı doluluk oranlarındaki dolgu desen tipleri arasındaki dayanım sırası eş merkezli > ızgara > üçlü altıgen dolgu desenleri şeklindedir (Rismalia vd., 2019). Yaptığımız çalışma sonucunda ise, 90° dolgu desen açısına sahip numuneler arasındaki dayanım sırası; eş

merkezli > zik zak > üçgen > izgara > üçlü altıgen dolgu desenleri şeklinde olduğu görülmüştür. Çalışmamızda elde edilen sonuçların Rismalia ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada elde edilen sonuçlarla örtüştüğü anlaşılmaktadır. İkinci numunenin (90° dolgu desen açılı, eş merkezli) ve on birinci numunenin (90° dolgu desen açılı, zik zak) dayanımlarının yüksek olması baskı desen yönünün çekme yönüyle bağlantılı olduğu ve dolayısıyla baskı sırasında baskı desen açılarının ve yönlerinin uygulanan kuvvetler doğrultusunda seçilmesinin büyük avantaj sağladığı anlaşılmıştır. Bu nedenle, dolgu deseni ve yönünün çekme dayanımına olan etkisi incelendiğinde 3B baskı ile üretilen parçaların anizotropik bir özellik gösterdiği söylenebilir. Bacak ve arkadaşlarının yaptığı çalışma sonucunda %20 doluluk oranındaki izgara dolgu desen tipindeki numunenin tam dolu numuneye göre özgül dayanımının yaklaşık %9,77 oranında daha düşük olduğu anlaşılmaktadır (Bacak vd., 2021). Yaptığımız çalışma sonucunda ise; 45° dolgu desen açılı izgara dolgu deseni tipindeki numunenin tam dolu numuneye göre özgül dayanımı %9,05 oranında daha düşük olduğu tespit edilerek, izgara dolgu deseninin tam dolu numuneye göre özgül dayanımı arasındaki birbiriyle örtüşen yakın bir ilişkisi tespit edilmiştir.

Çekme testleri sonucunda %30 doluluk oranına sahip ikinci numunenin (eş merkezli) özgül dayanımının %100 doluluk oranına sahip birinci numuneye göre yaklaşık %25 oranında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, dayanım-ağırlık ilişkisi dikkate alındığında 3B baskı metodu ile üretilen parçaların tasarımı yapılırken desen yönünün çekme kuvvetinin uygulandığı yöne göre belirlenmesinin daha düşük doluluk oranları ile daha az malzeme kullanarak hafif ve dayanıklı fonksiyonel parçaların üretilebileceğini göstermektedir. Bu çalışma ile eklemeli imalat kullanılarak üretilen parçalarda iç dolgu desen tipi ve yönünün doğru bir şekilde planlanmasının parçaların dayanımına etkileri daha iyi anlaşılmıştır.

Çalışmada 3B baskıda dolgu biçiminin çekme dayanımına etkisi; 0°, 45° ve 90° açılı eş merkezli, izgara, üçgen, 3B altıgen, zik zak olmak üzere 5 farklı desen tipi, 11 numune kullanılarak araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Numune sayısının sınırlı olması bu çalışmanın bir kısıtı olarak belirtilebilir. Numune sayısı ve test tekrar sayısı artırılarak farklı desen tipleri ve açılarının çekme dayanımına etkisi ilerleyen çalışmalarda detaylandırılarak değerlendirilebilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Agencies of the U.S. Department of Defense, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, Designation: D638 – 14, 2015.
- Akın E., The Investigation of Notched Tensile Test with Finite element method, Master Thesis, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2006.
- Bacak S, Özkavak H. V., Sofu M. M., Comparison of Mechanical Properties of 3D-Printed Specimens Manufactured Via FDM with Various Inner Geometries. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(2), 1444-1454, 2021.
- Bozkurt Y., Gülsoy H. Ö., Karayel E., The Use of Additive Manufacturing Technologies in the Production of Medical Equipment, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 8 (2), 962-980, 2021.
- Cristian D., Laszlo R., Effects of Raster Orientation, Infill Rate and Infill Pattern on the Mechanical Properties of 3B Printed Materials, *Acta Universitatis Cibiniensis – Technical Series*, 23-29, 2017.
- Dey A., Yodo N.; A Systematic Survey of FDM Process Parameter Optimization and Their Influence on Part Characteristics: Review, *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2019.
- Dizon J. R. C., Espera, A. H., Chen Q., Advincula R. C., Mechanical Characterization of 3D-Printed Polymers, *Additive Manufacturing*, 20, 44-67, 2018.
- Gibson L., Rosen D., Stucker B., *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, 2nd ed., Springer, New York, 1-2, 2015.
- Günay M., Gündüz S., Yılmaz H., Yaşar N., Kaçar R., Optimization of 3D Printing Operation Parameters for Tensile Strength in PLA Based Specimen, *Journal of Polytechnic*, 23(1), 73-79, 2020.
- Hanon M. M., Marczis R., Zsidai L., Influence of the 3B Printing Process Settings on Tensile Strength of PLA and HT-PLA, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 65(1), 38-46, 2021.
- Harshitha, V., Rao, S. S., Design and analysis of ISO standard bolt and nut in FDM 3B printer using PLA and ABS materials. *Materials Today: Proceedings*, 19(2), 583-588, 2019.
- Iwata T., *Biodegradable and Bio-Based Polymers: Future Prospects of Eco-Friendly Plastics*, *Sustainable Chemistry*, 3210-3215, 2015.
- Kozior, T., Kundera, C., Evaluation of the influence of parameters of FDM technology on the selected mechanical properties of models, *Procedia Engineering*, 192, 463-468, 2017.
- Mazurchevici A. D., Nedelcu D., Popa R., Additive manufacturing of composite materials by FDM technology: A review, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, Vol. 27, 179-192, 2020.
- Pakkanen J., Manfredi D., Minetola P. and Iuliano L., About the Use of Recycled or Biodegradable Filaments for Sustainability of 3B Printing, *State of the Art and Research Opportunities*, Springer International Publishing AG, 776-785, 2017.

- Rismalia M., Hidajat S. C., Permana I. G. R., Hadisujoto B., Muslimin M. and Triawan F., Infill pattern and density effects on the tensile properties of 3B printed PLA material, 4th Annual Applied Science and Engineering Conference Series 1402, 2019.
- Sürmen, H. K. Additive Manufacturing (3D Printing): Technologies and Applications. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 24(2), 373-392, 2019.
- Ultimaker. PLA TDS. <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011962720-Ultimaker-PLA-TDS>. Yayın tarihi Mayıs 16, 2017. Erişim tarihi Aralık 5, 2021.
- Yarwindran M., Sa'aban N. A., Ibrahim M., Periyasamy R., Thermoplastic Elastomer Infill Pattern Impact on Mechanical Properties 3B Printed Customized Orthotic Insole, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 11(10), 6519-6524, 2006.



UN RANDIMAN ORANI VE YOĞURMA KOŞULLARININ ARAP EKMEĞİNİN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Mustafa SATOUF¹, Mehmet KÖTEN^{2*}

¹ Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Yusuf Şerefoğlu Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Kilis, Türkiye

² Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Yusuf Şerefoğlu Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Kilis, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Un Randımanı,
Soğuk Hamur,
Sıcak Hamur,
Suriye Ekmeği.*

Öz

Bu çalışmada, un randıman oranı ve yoğurma yönteminin Suriye (Arap) ekmeğinin (iki katlı yassı ekmek) kalitesine etkisini araştırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla Cham-4 ekmeçlik buğday çeşidinden %70, 75 ve 80 randımanlı unlar elde edilmiştir. Un örneklerinin randıman oranına bağlı olarak kül, protein, yağ, ham lif, gluten, gluten indeks, Zeleny sedimentasyon, düşme sayısı ve renk analiz sonuçları arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur. Farinograf analizinde, randıman oranı arttıkça unların su absorpsiyonu ve yumuşama derecesi değerleri artarken, gelişme süresi ve stabilite süresi azalmıştır. Farklı randıman oranlarına sahip unlara uygulanan alveograf analizinde, randıman oranındaki artışa bağlı olarak tüm özelliklerde (basınç, uzayabilirlik, enerji) düşüşler tespit edilmiştir. Bayatlama ve duyuşal özellikler açısından değerlendirilen ekmeklerin tüm randıman oranlarında soğuk yoğurma yönteminin (7°C sıcaklıkta su eklenmiş hamur), ılık yoğurma yöntemine (35°C sıcaklıkta su eklenmiş hamur) göre daha iyi olduğu bulunmuştur. Ayrıca %75 randımanlı undan yapılan ekmek duyuşal analizde genel beğeni açısından" ifadesi en yüksek toplam puana sahip olmuştur.

THE EFFECT OF EXTRACTION RATE OF FLOUR AND KNEADING CONDITIONS ON THE SPECIFICATIONS OF ARABIC BREAD

Keywords

*Flour Yield,
Cold Dough,
Warm Dough,
Syrian Bread.*

Abstract

This study was aimed to investigate the effect of flour extraction rate and the kneading method on the quality of Syrian (Arabic) bread (two-layer flat bread). For this purpose, flours with 70, 75, and 80% extraction yields were obtained from Cham-4 bread wheat. Statistically significant differences were found between different flour samples for the ash, protein, fat, crude fiber, gluten, gluten index, Zeleny sedimentation, falling number, and color results depending on extraction ratio of flour samples. In the farinograph analysis, as the extraction rate increased, the water absorption and softening degree values of the flours increased, while the development time and stability time decreased. In the alveograph analysis applied to flours with different extraction rates, decreases were detected in all properties (pressure, extensibility, energy) depending on the increase in the extraction rate. It was found that the cold kneading method (dough prepared with water of 7°C) was better than the warm kneading method (dough prepared with water of 35°C) for all extraction rates of bread evaluated in terms of staling and sensory properties. In addition, bread made from 75% extracted flour had the highest total overall acceptability score in the sensory analysis.

Alıntı / Cite

Satouf, M., Köten, M., (2023). Un Randıman Oranı ve Yoğurma Koşullarının Arap Ekmeğinin Özelliklerine Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 349-359.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Satouf, 0000-0002-8349-4899
M. Köten, 0000-0002-8232-8610

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	05.11.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	03.12.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	08.12.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: mehmetkoten@kilis.edu.tr, +90- 348-814-3095

THE EFFECT OF EXTRACTION RATE OF FLOUR AND KNEADING CONDITIONS ON THE SPECIFICATIONS OF ARABIC BREAD

Mustafa SATOUF¹, Mehmet KÖTEN^{2†}

¹Kilis 7 Aralık University, Yusuf Serefoğlu Health Sciences Faculty, Department of Nursing, Kilis, Turkey

²Kilis 7 Aralık University, Yusuf Serefoğlu Health Sciences Faculty, Department of Nutrition and Dietetics, Kilis, Turkey

Highlights

- Bread is accepted as the most essential food for human nutrition all over the world.
- Flat breads, which are local breads, are produced and consumed at very high levels in many countries.
- One of the oldest types of flat bread consumed today is “Arabic bread”, also called Middle Eastern pita.
- In the Middle East, one of two methods (warm dough or cold dough) is usually used to prepare Arabic bread dough.

Graphical Abstract

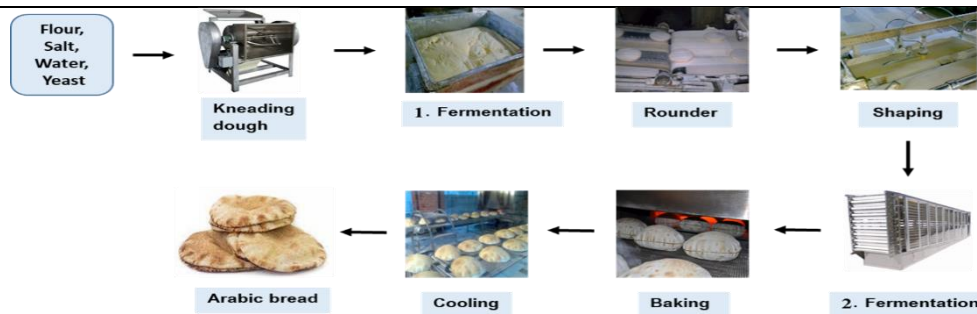


Figure. Steps of Arabic bread production

Purpose and Scope

This study aimed to investigate the effect of wheat flour extraction rates and kneading conditions on the characteristics quality of Arabic bread. For this purpose, this study was preparing Arabic bread samples by using three different extraction rates of flour (70%, 75% and 80%) with two different ways, the first one was warm dough (using water at 35°C) and the second by using cold dough (using water at 7°C).

Design/methodology/approach

In this study, chemical, physicochemical, colorimetric and rheological tests of flour samples used in bread making were performed. After that, two different ways (warm dough and cold dough) was used to prepare Arabic bread. Then, The sensory characteristics of bread samples were evaluated and discussion was made whether the intended goals were achieved or not.

Findings

The panelist evaluations of the sensory and staling of Arabic bread samples produced from different flour samples were showed the cold kneading method (7°C water heat) is better than the warm kneading method (35°C water heat) in all flour samples used. and the sensory results of bread samples prepared from flour sample of 75% extraction rate by cold kneading method are the highest quality compared to other samples.

Originality

Through research and scrutiny of scientific references, it was seemed the most popular current research topics are related to the technological development of dough and bread. Especially, the popular studies were in areas such as optimal grinding methods, improvement the kneading process, evaluation of dough improvers (eg enzymes, hydrocolloids and emulsifiers, ect..). The research results was reported an important effect of water temperature used in kneading on the gluten development and rheological properties of dough, as will as the quality of the final product. However, no scientific study has been noteced about the effect of water temperature on the dough properties as influential factor in Arabic bread making. Therefore, this study can be considered as an original study in this field.

[†] Corresponding author: mehmetkoten@kilis.edu.tr, +90-348-814-3095

1. Giriş (Introduction)

Ekmek ve diğer unlu mamuller tüm dünyada insan beslenmesi için gerekli gıdalar olarak kabul edilmektedir. Çünkü bu ürünler önemli bir makro besin, mikro besin, diyet lifi, vitamin ve antioksidan kaynağıdır (Kweon vd., 2014). Dünyanın birçok ülkesinde kültürel ve teknolojik farklılıklardan dolayı çok değişik şekillerde ekmek üretilmektedir. Bu ekmeklerin çoğu francala tip ekmekler olsa da yöresel ekmekler de oldukça yüksek miktarda tüketilmektedir. Yöresel ekmeklerden olan düz (yassı) ekmekler Türkiye'nin yanı sıra Ortadoğu, Kuzey ve Güney Afrika, Hint Yarımadası, Orta Amerika, Çin ve Avrupa ülkelerinde oldukça yüksek düzeylerde üretilip tüketilen ekmek tipilerindedir. Bugün düz ekmek tüketimi tüm dünyada artmakta ve geleneksel üretimden ticari mekanik üretime geçiş yapılmaktadır (Fayaz vd., 2021; Köten ve Ünsal, 2020). Dünya çapında 2018'de 38.8 milyar dolar değerinde olan düz ekmek pazar büyüklüğü, 2019'da 41.17 milyar dolara yükselmiş ve yıllık %6.2'lik bileşik büyüme oranıyla 2026'da 62.8 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir (Anonim, 2021). Düz ekmekler genellikle düz bir şekilde inceltmiş un, tuz, su ve maya hamurundan yapılmaktadır. Ana üretim aşamaları malzemelerin yoğrulması, mayalanma (isteğe bağlı), şekillendirme ve pişirmedir (Pasqualone, 2018).

Düz ekmeklerin tarihi M.Ö. 5000 yılına kadar uzanmaktadır ve bugün tüketilen en eski düz ekmek çeşitlerinden biri Orta Doğu pidesi de denen "Arap ekmeği" dir (Cornell ve Hoveling, 1998). Mayalı, ince ve çift katlı bir düz ekmek olan Arap ekmeğinin hamuru birkaç milimetreye kadar inceltilmekte ve fırında pişerken fermantasyon sırasında oluşan karbondioksit, hamur nemi ve hava gibi gazların termal genişmesi nedeniyle bir "balon" oluşturmaktadır. Pişirmeden sonra, balon soğumaya bağlı olarak sönmekte ve arası et ve/veya sebzelerle doldurulabilen yumuşak ve esnek bir ekmek durumuna gelmektedir (Pasqualone, 2018). Tüketici talebine bağlı olarak beyaz ve esmer renkte ekmekler üretilebilmektedir. Beyaz ekmek üretiminde %70±2 randımanlı unlar kullanılırken, esmer ekmek üretiminde %90±5 randımanlı unlar kullanılmaktadır (Köten vd., 2017).

Literatür taramalarında en popüler güncel araştırma konularının hamur ve ekmeğin teknolojik gelişimi ile ilgili olduğu görülmektedir. Özellikle optimal öğütme yöntemleri, yoğurma prosesinde iyileştirmeler, hamur geliştiricilerin (örneğin enzimler, hidrokoloidler ve emülgatörler) değerlendirilmesi gibi alanlarda yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir. Yoğurma prosesinde iyileştirmelere odaklanan kayda değer miktarda araştırma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, hamur yoğurmada alternatif soğutucu akışkanların kullanımı, yoğurma prosesinin gerçek zamanlı ölçümü, yenilikçi yoğurma makinelerinin ve yoğurma tekniklerinin geliştirilmesi ve diğer birçok tekniğin yanı sıra potansiyel geliştiricilerin test edilmesi gibi konular incelenmiştir (Cappelli vd., 2020). Yoğurma işleminin temel amacı, hammadde ve yardımcı malzemelerin homojen bir karışımını sağlamak ve aynı zamanda viskoz-elastik yapı özelliklerine sahip hamur elde etmektir. Ayrıca yoğurma işlemi sırasında hamurun reolojik özellikleri ve nihai ürünün kalitesi için çok önemli olan bir miktar hava da hamura dahil edilmektedir. Yoğurma sırasında sürtünme ısısı hamur sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır. İstenilen hamur sıcaklığını kontrol etmek için su sıcaklığının ayarlanması gerekmektedir. Malzemeler iyice karıştırıldıktan sonra gluten ağının yeterince esnek ve uzayabilir bir yapı kazanması hamurun hazır olduğu anlamına gelmektedir (Coşkuner vd., 1999). Yapılan çalışmalarda hamur yoğurmada kullanılan suyun sıcaklığının gluten gelişimini, hamurun reolojik özelliklerini ve son ürün kalitesini önemli ölçüde etkileyen önemli bir parametre olduğu rapor edilmiştir. Gluten gelişimini teşvik etmek ve geliştirmek için bazı unlu mamullerin üretim proseslerinde hamur oluşturmada sıcak su gerektirdiği de vurgulanmıştır. Bu, gluten için soğuk sudan çok daha etkili ve verimli bir plastikleştirici olan sıcak suyun teknolojik özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Kweon vd., 2014; Kweon vd., 2011; Slade ve Levine, 1994). Ayrıca hamur özellikleri un, su ve havanın etkileşimlerinden de etkilenmektedir. Özellikle un ve suyun etkileşiminden dolayı hamur oluşumunda su, undan sonra en önemli ikinci bileşendir (Yang vd., 2019; Kweon vd., 2014).

Düz ekmek kalitesi, üretimde kullanılan buğdayın kalitesi, unun randıman oranı, katkı maddeleri ve üretim yöntemleri gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca buğdayın kalıtsal özellikleri, tavlama koşulları ve öğütme uygulamaları da un kalitesinde önemli bir farklılığa neden olmaktadır. Genel olarak buğdayın öğütülmesi sonucu elde edilen unun randıman oranı, un ve son ürünün kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Mueen-ud-Din vd., 2010; Qarooni vd., 1994). Un randıman oranı, besin içeriği üzerinde belirgin bir etkiye neden olabilmektedir. Yapılan çalışmalar, un randıman oranının protein içeriğini, farinografik su emilimini ve gluten gücünü etkilediğini göstermiştir. Randıman oranının artmasıyla protein içeriği, lif, şeker, lipidler ve mineral madde artarken nişasta azalmaktadır (Mueen-ud-Din vd., 2010). Randıman oranının artışına bağlı olarak artan kepek fraksiyonunun, özgül hacmin azalması ve ekmek içi dokusunun yoğunluğunun artması nedeniyle ekmek kalitesini düşürdüğü bilinmektedir. Ancak sağlık nedenleriyle bazı tüketiciler tam tahıl (%100 randımanlı) ürünlerini tercih etmektedir (Alhendi vd., 2021).

Suriye ekmeği (Arap ekmeği) endüstrisi Ortadoğu'da özellikle Suriye ve Lübnan'da çok yüksek düzeyde üretimin yapıldığı bir endüstridir. Otomatik ve yarı otomatik üretim yapan oldukça fazla fırın bulunmakta olup bu fırınlarda ekmek hamuru hazırlanmasında iki yöntemin (ılık hamur ve soğuk hamur) kullanıldığı görülmektedir.

Özellikle Lübnan'da düz ekmek üretiminde hamura eklenen suyun sıcaklığının oldukça düşük tutulduğu görülmektedir. Böylece fermantasyon süresi uzatılarak yüksek sıcaklığın unun bazı bileşiklerine (protein vb) zararlı etkilerinden kaçınılmış olmaktadır. Bu şekilde üretim yapan fırıncılar elde ettikleri ekmeklerin daha kaliteli olduğunu ve tüketiciler tarafından daha çok tercih edildiğini dile getirmektedirler. Bu çalışma, farklı un randıman oranlarının ve yoğurma koşullarının Arap ekmeğinin kalite özelliklerine etkisini araştırmak için planlanmıştır. Bu amaçla; farklı randımanlı unlardan hem ılık hamur (35°C sıcaklıkta su kullanımı) hem de soğuk hamur (7°C sıcaklıkta su kullanımı) yöntemiyle hamur hazırlanarak ekmek üretimleri yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Materials and Methods)

2.1. Materyal (Materials)

Çalışmada ekmek üretiminde kullanılan unun elde edildiği Cham-4 (*Triticum aestivum* L.) çeşidi buğday, Suriye'nin Halep şehrinde bulunan Uluslararası Kurak Alanlarda Tarımsal Araştırma Merkezi (ICARDA)'dan sağlanmıştır. Hamur formülasyonunda kullanılan tuz (Billur, İzmir, Türkiye) ve yaş maya (Pakmaya, İzmit, Türkiye) yerel bir marketten temin edilmiştir. Hamur yoğurmada içme kalitesinde şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2. Yöntem (Methods)

2.2.1. Öğütme (Milling)

Buğdayların öğütülmesi AACC metod 26-10.02 baz alınarak gerçekleştirilmiştir (AACC, 2010). Bu amaçla buğdaylar öncelikle %15.50 nem içerecek kadar su verilerek tavllanmış ve 36 saat belirli aralıklarla karıştırılmak suretiyle dinlendirilmiştir. Tavllanmış olan buğdaylar daha sonra üç adet kırma ve üç adet inceltme valsine sahip laboratuvar değirmeninde (Buhler, MLU-202, İsviçre) Tablo 1'de gösterilen üç değişik randımanda una öğütülmüştür.

Tablo 1. Buğday tanelerinden elde edilen öğütme ürünlerinin yaklaşık bileşimi (Approximate composition of milling products from wheat grains)

Ürün	Randıman (%)		
	70	75	80
Un	70.00	75.00	80.00
İnce Kepek	14.70	12.00	10.50
Kalın Kepek	15.30	13.00	9.50

2.2.2. Ekmek üretimi (Bread production)

Suriye ekmeği (Arap ekmeği) endüstrisi Ortadoğu'da özellikle Suriye ve Lübnan'da çok yüksek düzeyde üretimin yapıldığı bir endüstridir. Otomatik ve yarı otomatik üretim yapan oldukça fazla sayıda fırın bulunmakta olup bu fırınlarda ekmek hamuru hazırlanmasında iki yöntemin (ılık hamur ve soğuk hamur) kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışma kapsamında; elde edilen her farklı randımanlı undan hem ılık hamur (35°C sıcaklıkta su kullanımı) hem de soğuk hamur (7°C sıcaklıkta su kullanımı) yöntemiyle hamur hazırlanarak ekmek üretimleri yapılmıştır. Tüm üretimlerde Williams vd. (1988) ve Quail vd. (1990)'un bildirdikleri Arap ekmeği üretim yöntemi modifiye edilerek kullanılmıştır.

2.2.2.1. Ilık hamur yöntemiyle ekmek üretimi (Bread production using the warm dough method)

Bu yöntemle ekmek hamurunun hazırlanmasında 100 g un için 3.0 g yaş maya, 1.2 g tuz, 55 mL 35°C sıcaklıktaki su kullanılmıştır. Öncelikle un, hamur yoğurucusunda 3 dakika karıştırılarak havalandırılmıştır. Daha sonra tüm bileşenler yumuşak bir yapıda hamur elde edilene kadar 15 dakika boyunca karıştırılmıştır. Elde edilen hamur özel fermantasyon kaplarına aktarılıp 35±5°C'de, %85 bağıl nemde 40 dakika dinlenmeye (birinci fermantasyon) bırakılmıştır. Hamur daha sonra 200±2 gr'lık yuvarlak top haline getirilerek 35±5°C'de, %85 bağıl nemde 10 dakika daha dinlendirilmiştir (ikinci fermantasyon). Dinlendirilen hamurlar oklava yardımı ile 250 mm çap ve 3 mm kalınlıkta olacak şekilde açılmıştır. Açılan hamurlar bu şekilde 35±5°C'de, %85 bağıl nemde 10 dakika daha dinlendirmeye (son fermantasyon) bırakılmıştır. Fermantasyonu tamamlanmış hamurlar ticari otomatik bir fırında (Alfa, Kilis, Türkiye) 600°C'de optimum kabuk rengi elde edilene kadar yaklaşık 20±5 saniye süreyle pişirilmiştir. Pişirilen ekmekler 10 dakika oda sıcaklığına soğutulduktan sonra nem kaybını önlemek için polietilen torbalara yerleştirilmiştir. Ekmekler analizlere alınıncaya kadar oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir.

2.2.2.2. Soğuk hamur yöntemiyle ekmek üretimi (Bread production using the cold dough method)

Bu yöntemle ekmek hamurunun hazırlanmasında 100 g un için 3.0 g yaş maya, 3.0 g şeker, 1.2 g tuz, farinograf cihazında belirlenen miktar kadar (55 mL) 7°C sıcaklıktaki su kullanılmıştır. Öncelikle un, hamur yoğurucusunda 3 dakika karıştırılarak havalandırılmıştır. Daha sonra tüm bileşenler yumuşak bir yapıda hamur elde edilene kadar 15 dakika boyunca karıştırılmıştır. Elde edilen hamur özel fermantasyon kaplarına aktarılıp 35±5°C'de, %85 bağıl nemde 60 dakika dinlenmeye (birinci fermantasyon) bırakılmıştır. Burada yoğurma sıcaklığı, fermantasyon süresinin sonunda kademeli olarak 27°C'ye ulaşmıştır. Bu şekilde hazırlanan hamur daha sonra 200±2 gr'lık yuvarlak top haline getirilerek 35±5°C'de, %85 bağıl nemde 10 dakika daha dinlendirilmiştir (ikinci fermantasyon). Dinlendirilen hamurlar oklava yardımı ile 250 mm çap ve 3 mm kalınlıkta olacak şekilde açılmıştır. Açılan hamurlar bu şekilde 35±5°C'de, %85 bağıl nemde 10 dakika daha dinlendirmeye (son fermantasyon) bırakılmıştır. Fermantasyonu tamamlanmış hamurlar ticari otomatik bir fırında (Alfa, Kilis, Türkiye) 600°C'de optimum kabuk rengi elde edilene kadar yaklaşık 20±5 saniye süreyle pişirilmiştir. Pişirilen ekmekler 10 dakika oda sıcaklığına soğutulduktan sonra nem kaybını önlemek için polietilen torbalara yerleştirilmiştir. Ekmekler analizlere alınıncaya kadar oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir.

2.2.3. Kimyasal analizler (Chemical analyses)

Un örneklerinin nem (standart no: 110/1), kül (standart no: 104/1) ve protein (Nx5.7) (standart no: 105/1) içerikleri ICC metotları kullanılarak belirlenmiştir (ICC, 2002).

2.2.4. Fizikokimyasal analizler (Physicochemical analyses)

Un örneklerinde yaş ve kuru gluten (standart no; 155/1), gluten indeks (standart no: 158/1), düşme sayısı (standart no: 107/1) ve Zeleny sedimantasyon (standart no: 116/1) analizleri ICC metotları baz alınarak gerçekleştirilmiştir (ICC, 2002).

2.2.5. Renk analizleri (Color analyses)

Unların renk ölçümü Kent-Jones Martin renk ölçüm aleti (Tinsley, İngiltere) kullanılarak yapılmış ve sonuçlar Kent-Jones Unit (K.U) birimi cinsinden verilmiştir (Kent-Jones ve Martin, 1950). Analiz için 30 g un örneği ile 50 ml damıtılmış su cihazın küvetinde 45 saniye karıştırılmış ve daha sonra 45 saniye bekletildikten sonra 540 nm dalga boyunda okuma yapılmıştır.

2.2.6. Reolojik analizler (Rheological analyses)

Un örneklerinde farinograf ölçümleri 300 g yoğurucu ünitesine sahip farinograf cihazında (Brabender, Almanya) AACC metod 54-21.02'ye göre; alveograf ölçümleri ise alveograf cihazında (Chopin, Fransa) AACC metod 54-30.01'e göre yapılmıştır (AACC, 2010).

2.2.7. Ekmeklerde bayatlamının değerlendirilmesi (Evaluation of staling in bread)

Ekmeklerde bayatlamının değerlendirilmesi AACC metod 74-30.01'e göre gerçekleştirilmiştir (AACC, 2010). Bunun için ekmekler piştikten hemen sonra soğutulup polietilen torbalara konulmuş ve oda sıcaklığında depolanmıştır. Depolamanın 24., 48. ve 72. saatlerinde ekmekler yarı eğitilmiş panelistler tarafından duyu analizi değerlendirilmeye alınmıştır. Değerlendirmede panelistler, her bir özelliği 5 (en iyi) ile 1 (en kötü) arasında puanlamışlardır. Çok taze için 5, taze için 4, az taze için 3, bayat için 2 ve çok bayat için 1 olacak şekilde bir puanlama sistemi kullanılmıştır.

2.2.8. Duyusal analizler (Sensory analyses)

Duyusal analizler Qarooni vd. (1987) ve Williams vd., (1988) tarafından tanımlanan özellikler modifiye edilerek düzenlenen formların kullanılması suretiyle yarı eğitilmiş 10 panelist tarafından gerçekleştirilmiştir. Panelistlerin tamamı sigara içmeyen kişilerden seçilmiştir. Ekmekler pişirildikten iki saat sonra yapılan duyu analizlerinde panelistler örnekleri kabuk rengi, iç renk, katlanabilirlik, çiğnenebilirlik, tat ve genel beğeni özellikleri bakımından 1 ile 5 puan aralığında değerlendirilmeye alınmıştır.

2.2.9. İstatistiksel analizler (Statistical analyses)

İstatistiksel analiz sonuçları SPSS 11.5 (Chicago, IL, ABD) istatistik programı kullanılarak değerlendirilmiştir. ANOVA test yöntemi ile örnekler arasındaki farklılıkların önem derecesi $p \leq 0.05$ düzeyinde belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma (Results and Discussion)

3.1. Kimyasal, fizikokimyasal ve renk özellikleri (Chemical, physicochemical and color properties)

Farklı randımanda elde edilen unların kimyasal ve fizikokimyasal özellikleri için elde edilen sonuçlar Tablo 2’de sunulmuştur. Un randıman oranından nem, kül, protein, yağ, ham lif, düşme sayısı, yaş ve kuru gluten, Zeleny sedimentasyon ve renk gibi özelliklerin tümünün etkilendiği görülmektedir. Randıman oranının artmasına bağlı olarak gluten indeks, düşme sayısı ve Zeleny sedimentasyon dışındaki diğer tüm parametreler artmıştır. Randıman oranlarına bağlı olarak un örneklerinin nem değerleri $p \leq 0.05$ düzeyinde önemli farklılıklar göstermiştir. Un örneklerine ait nem değerlerinin %13.30-13.70 aralığında değiştiği görülmüştür (Tablo 2). Bu değerlerin Türk Gıda Kodeksi Buğday Unu Tebliği’nde (Anonim, 2013) belirtilen (en çok % 14.5 olmalı) sınırlamaya uygun olduğu görülmektedir. Buğday ve unlarda bozulmanın olmaması için %14.5 kritik rutubet değeri olarak kabul edilmektedir (Özkaya ve Özkaya, 2005).

Tablo 2. Un örneklerinin kimyasal, fizikokimyasal ve renk özellikleri (Chemical, physicochemical and color properties of flour samples)*

Özellik	Randıman (%)		
	70	75	80
Nem (%)	13.30±0.10 ^b	13.40±0.00 ^b	13.70±0.03 ^a
Kül (%)**	0.57±0.03 ^c	0.62±0.04 ^b	0.86±0.02 ^a
Protein (%)**	10.58±0.20 ^c	11.86±0.13 ^b	13.10±0.06 ^a
Yağ (%)**	0.97±0.18 ^b	1.02±0.13 ^b	1.14±0.09 ^a
Yaş gluten (%)	30.81±0.00 ^b	31.48±0.07 ^b	32.72±0.05 ^a
Kuru gluten (%)	9.18±0.11 ^c	10.46±0.00 ^b	11.53±0.30 ^a
Gluten indeks (%)	92.00±2.51 ^a	90.00±3.66 ^b	87.00±3.00 ^c
Düşme sayısı (saniye)	432.00±1.10 ^a	430.00±2.02 ^b	424.00±0.07 ^c
Zeleny sedimentasyon (ml)	24.00±0.02 ^a	22.50±0.08 ^b	19.50±0.05 ^c
Ham lif (%)**	0.73±0.80 ^c	0.82±0.09 ^b	1.03±0.06 ^a
Renk (K.U)	3.60±0.01 ^c	5.20±0.08 ^b	7.80±0.31 ^a

*Her bir özellik için aynı satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p \leq 0.05$)

**Kuru maddede hesaplanmıştır

Tahılların yakılması sonucu geriye kalan kalıntı kül olarak tanımlanmakta ve bu kalıntı mineral maddelerden oluşmaktadır. Kül miktarı özellikle unda önemli bir kalite parametresidir. Unda kül miktarının yüksek olması, unun yüksek randımanlı olduğunu göstermektedir (Köksel vd., 2000). Un randıman oranı ile kül miktarı arasında yüksek bir korelasyon bulunmaktadır (Özkaya ve Özkaya, 2005). Çalışmada kullanılan unların kül miktarlarının %0.57-0.86 aralığında değiştiği görülmüştür (Tablo 2). En düşük değer %70 randımanlı unda %0.57 olarak bulunmuştur. Unlara ait tüm kül değerleri $p \leq 0.05$ ’te önemli farklılıklar göstermiştir. Kül oranlarındaki artış, Ramirez-Wong vd. (2007) tarafından bildirildiği gibi perikarp ve aleuronik tabaka oranının daha yüksek olmasından kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca elde edilen kül sonuçları, Rababah vd. (2019)’nın bulgularıyla uyumlu bulunmuştur.

Farklı randımanda (%70, 75 ve 80) öğütülen un örneklerinin yapılan protein analizi sonucunda protein içerikleri sırasıyla %10.58, 11.86 ve 13.10 olarak tespit edilmiş ve bu değerler arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) bulunmuştur (Tablo 2). Randıman arttıkça protein içeriklerinde artış olmuştur. Bunun nedeni daha yüksek randımanlı unda iç endospermden daha yüksek protein içeren alt-alöron katmanlarının varlığı olabilir. Sonuçlar, yüksek randımanlı unların protein içeriklerinin daha düşük randımanlı unlarınkinden daha yüksek olabileceğini rapor eden Quail vd. (1990)’ın yaptığı çalışmasında saptadığı sonuçlarla benzer bulunmuştur. Qarooni vd. (1987), Arap ekmeği için optimum un proteininin %10-12 olduğunu, Quail vd. (1991) ise protein içeriği %9-12 olan unların Arap ekmeği için daha uygun olduğunu bildirmişlerdir. Un randıman oranı arttıkça protein ve ham lif içeriği artmıştır. Bu durum beslenme sorunları ve selülozun sindirim sistemi üzerindeki olumlu fizyolojik etkisi açısından oldukça önem taşımaktadır. Un örneklerine ait ham lif değerleri %0.73-1.03 aralığında değişmiş ve bu değişim istatistiksel açıdan da önemli ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. Tablo 2’de görüldüğü gibi en düşük değer (%0.73) %70 randımanlı unda bulunmuştur. Un randımanını düşmesi öğütme sırasında buğdaydan daha fazla kepek ayrılması ve dolayısıyla undaki lif miktarının azalması anlamına gelmektedir (Mueen-ud-Din vd., 2010). En yüksek ham lif değeri ise %80 randımanlı unda görülmüştür. Randıman oranı teorik olarak maksimum %81-84’e yaklaştıkça, un kepek ile giderek daha fazla kirlenmektedir (Campbell, 2007). Diğer bir deyişle, randıman oranı %80’i aşması durumunda un, ham lifçe zengin daha fazla kepek parçacıkları içermektedir. Çalışmada incelenen un örneklerinin fizikokimyasal özelliklerine ilişkin sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir. Unların yaş gluten içerikleri %30.81-32.72 arasında değişmiş ve en yüksek yaş gluten miktarına %80 randımanlı unun

sahip olduğu görülmüştür. Aynı un örneğininin kuru gluten ve gluten indeks değerleri sırasıyla %11.53 ve %87.0 olarak bulunmuştur. Ayrıca un randıman oranının artışına bağlı olarak yaş ve kuru gluten miktarının arttığı, gluten indeks değerinin ise azaldığı tespit edilmiştir. Yaş, gluten ve kuru gluten değerlerindeki artış eğilimi iki nedenden kaynaklanmış olabilir. Birinci olarak, un örneklerinin ham protein içeriklerinde randıman artışına bağlı olarak artmış olmasıdır. İkinci olarak, gluten proteinlerinin toplam ham proteinin %80-85'ini temsil etmesi ve ağırlığının 2.5-3 katı kadar suyu emme kabiliyetine sahip olmasıdır. Gluten indeks değerindeki azalışın daha zayıf bir pişme kalitesine sahip ekmek üretimine neden olacağı daha önceki çalışmalarda rapor edilmiştir (Azizi vd., 2006; Dowell vd., 2008).

Düşme sayısı testi, undaki α -amilaz aktivite değerini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. 150 saniyeden düşük bir düşme sayısı, undaki amilaz aktivitesinin aşırı yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Bu değere sahip bir unun elde edildiği buğdayın muhtemelen çimlenmiş olduğu ve bu undan yapılacak ekmek içinin de yapışkan olabileceği öngörülmektedir. Bu değer 200-250 saniye arasında olması amilaz aktivitesinin normal ve ekmek üretimi için uygun bir düzey olduğunu göstermektedir. Düşme sayısının 300 saniyenin üzerinde olması ise amilaz aktivitesinin düşük ve elde edilecek ekmeğin hacminin düşük ve ekmek içinin kuru olmasına neden olmaktadır (Köksel vd., 2000). Yapılan analiz sonucunda %70 randımanlı unda düşme sayısı değeri 432 saniye olarak bulunurken %75 ve %80 randımanlı unlarda sırasıyla 430 saniye ve 424 saniye bulunmuştur (Tablo 2). Bu sonuçlara göre tüm un örneklerinin α -amilaz aktivitelerinin düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca düşme sayısındaki azalma, kepek miktarının daha fazla olduğu yüksek randımanlı unların alfa-amilaz aktivitesinde bir artış olduğunu göstermektedir.

Un örneklerine ait renk değerleri Tablo 2’te verilmiş olup, %70 randımanlı unda 3.60 K.U., %75 randımanlı unda 5.20 K.U. ve %80 randımanlı unda 7.80 K.U. olarak saptanmıştır. Randıman arttıkça renk değerlerinde artış olmuş ve durum istatistiksel olarak da önemli ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. Bu sonuç, kül içeriğinin doğrudan lif içeriği ile ilişkili olduğunu gözlemleyen Jaekel vd. (2012)’nin önceki çalışmaları ile uyumlu bulunmuştur.

3.2. Reolojik özellikler (Rheological properties)

Hamurun reolojik özellikleri, hem hamurun işlenebilirliğini hem de son ürünün kalitesini etkilemektedir. Reolojik özellikler, unun kimyasal bileşimine ve hamura eklenen diğer bileşenlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Mir vd., 2014). Farinograf ve alveografa un ekstraksiyon oranlarının hamurun reolojik özellikleri üzerindeki etkileri Tablo 3’te sunulmuştur. Farinografa %70, 75 ve 80 randımanlı un örnekleri için su absorpsiyonu sırasıyla %61.60, %64.80 ve %66.50 olarak bulunmuştur. Randıman arttıkça su absorpsiyon değerlerinde artış olmuştur. Bu sonuçlar, yassı ekmek (Arap ekmeği) üretiminde kullanılan unlar için su absorpsiyonunun yüksek olması gerektiğini bildiren Quail vd. (1991) ile Al Saleh ve Brennan (2012)’in çalışmalarındaki sonuçlarla uyumlu bulunmuştur. Konopka vd. (2004), yaptıkları çalışma kapsamında inceledikleri unların su absorpsiyon değerlerini %57.8 ile %64.2 arasında tespit etmiş ve bu oranların undaki gluten miktar ve kalitesinin yanı sıra nişasta ve pentozanların fizikokimyasal yapısından da etkilendiğini bildirmişlerdir. Yapılan bir diğer çalışmada ise unun su absorpsiyon değeri ile özgül ekmek hacmi, öğütme parametreleri ve tane sertliği arasında oldukça yüksek bir korelasyonun olduğu saptanmıştır (Hrušková vd., 2006).

Tablo 3. Un örneklerinin reolojik özellikleri (Rheological properties of flour samples)*

Farinogram Özellikleri	Randıman (%)		
	70	75	80
Su absorpsiyonu (%)	61.60 ±0.34 ^c	64.80±0.21 ^b	66.50±0.30 ^a
Gelişme süresi (dakika)	4.00±0.06 ^b	4.80±0.27 ^a	3.80 ±0.01 ^c
Stabilite Süresi (dakika)	4.80 ±0.35 ^a	3.90 ±0.16 ^b	3.40±0.33 ^c
Yumuşama derecesi (BU)	93.00 ±3.05 ^c	101.00±3.51 ^b	107.00±2.02 ^a
Alveogram Özellikleri			
Direnç (P) (mm)	86.40 ±1.00 ^a	85.51±0.83 ^a	81.03±1.12 ^b
Uzayabilirlik (L) (mm)	68.07±1.30 ^a	66.98±1.72 ^a	61.08±0.91 ^b
P/L	1.27	1.28	1.33
Enerji (W) (10 ⁻⁴ Joule)	180.02 ±2.11 ^a	178.91 ±1.44 ^a	171.72±0.85 ^b

*Her bir özellik için aynı satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p \leq 0.05$)

Çalışmada incelenen un örneklerinden hazırlanan hamurların gelişme süreleri sırasıyla 4.00 dakika, 4.80 dakika, 3.80 dakika; stabilite süreleri ise 4.80 dakika, 3.90 dakika ve 3.40 dakika olarak tespit edilmiştir. Yumuşama dereceleri artan randıman oranına bağlı olarak sırasıyla 93.00 BU, 101.00 BU, 107.00 BU olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, %70 randımanlı unun en yüksek stabilite değeri ve en düşük yumuşama derecesi ile en kuvvetli un olduğu ve bunu %75 randımanlı ve %80 randımanlı unun takip ettiği görülmüştür. Genellikle

protein miktarı ve kalitesi yüksek olan unlarda gelişme ve stabilite süresi yüksek; yoğurma tolerans sayısı ve yumuşama derecesi düşük olmaktadır (Köksel vd., 2000). Randımının yumuşama değeri üzerine etkili olduğu özellikle tam buğday unundaki endosperm dışı bileşenler ve kepeğin, hamurdaki gluten ağını parçalayarak ekmekte iri gözenek yapısının oluşumuna ve ekmek iç yapısının sertleşmesine neden olduğu bildirilmiştir (Aamodt vd., 2005). Bu bağlamda, çalışmada kullanılan unların kül miktarlarının %70 randımandan %80 randımana doğru artmasının yani randıman artışının hamurun yumuşama derecesi üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Elde edilen sonuçlar diğer bazı araştırmacıların (Hosene, 1988; Coşkun vd., 1999) çalışmalarıyla benzer bulunmuştur. Arap ekmeği hamurunun gelişme süresi ve fermantasyon süresinin, çoğunlukla zayıf buğday unundan yapıldığı için genellikle kısa olduğu rapor edilmiştir. Bu nedenle hamurun aşırı dinlenmesi, ortaya çıkan ekmeğin kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Mir vd., 2014).

Her 3 un tipinde gerçekleştirilen alveograf analizi sonucunda elde edilen veriler Tablo 3'te verilmiştir. Alveograf cihazında direnç (P) değerleri, %70, %75 ve %80 randımanlı unlar için sırasıyla 86.40 mm, 85.51 mm ve 81.03 mm olarak ölçülmüştür. Görüldüğü üzere en yüksek direnç %70 randımanlı unda tespit edilmiş olup, randıman artışı hamur direncinde azalmaya neden olmuştur. Hamurların uzayabilirlik değerleri 61.08 ile 68.07 mm arasında değişmiş ve bu değişim istatistiksel açıdan da önemli ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. En yüksek uzayabilirlik değeri %70 randımanlı unda saptanırken, en düşük uzayabilirlik değeri %80 randımanlı unda saptanmıştır. Tablo 3 incelendiğinde randıman artışına bağlı olarak P/L oranının artış gösterdiği görülmektedir. Un örneklerine ait enerji değerleri ise 171.72 W ile 180.02 W arasında değişmiş olup; en yüksek enerji değeri %70 randımanlı unda, en düşük enerji değeri de %80 randımanlı unda görülmüştür. Un randıman oranının artmasıyla direnç, uzayabilirlik ve enerji değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Yüksek un randımının hamurun reolojik özellikleri üzerindeki bu olumsuz etkisinin, unda fazla miktarda kepek bulunmasına bağlı olarak gluten ağı ve kalitesindeki zayıflamadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Kepeğin hamur reolojik özellikleri üzerindeki olumsuz etkisini gösteren çalışma sonuçları diğer bazı araştırmacılar (Lai vd., 1989; Haridas Rao ve Malini, 1991; Gül vd., 2009) tarafından da rapor edilmiştir.

3.3. Duyusal özellikler (Sensory properties)

Farklı randımanlı unlardan üretilen ekmeklerin duyusal analizinde ekmekler yarı eğitilmiş panelistler tarafından kabuk rengi, iç renk, katlanabilirlik, çiğnenebilirlik, tat ve genel beğeni açısından değerlendirilmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına ilişkin veriler Tablo 4'te gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre tüm duyusal özellikler üzerine hem randıman oranının hem de hamur metodunun etkisi istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) bulunmuştur. Genel olarak bakıldığında hem soğuk hem de ılık hamur metoduyla %70 ve %75 randımanlı unlardan üretilen ekmekler tüm duyusal özellikler açısından %80 randımanlı undan üretilen ekmekten daha yüksek puan almıştır. Soğuk hamur metodunun üretilen tüm ekmeklerin duyusal özellikleri üzerinde daha etkili olduğu Tablo 4'ten de görülmektedir. Yani panelistler tarafından soğuk hamur metoduyla üretilen tüm ekmeklere ılık hamur metoduyla üretilen ekmeklerden daha yüksek puanlar verilmiştir. Genel beğeni bakımından en yüksek puanı (4.80) %75 randımanlı undan soğuk hamur metoduyla üretilen ekmek örneği almıştır. Panelistler tarafından en düşük puan (4.00) ise %80 randımanlı undan ılık hamur metoduyla üretilen ekmeğe verilmiştir.

Tablo 4. Ekmeklerin duyusal özellikleri (Sensory properties of breads)*

Hamur Metodu	Randıman (%)	Kabuk rengi	İç renk	Katlanabilirlik	Çiğnenebilirlik	Tat	Genel Beğeni
Soğuk	70	4.26±0.12 ^b	4.72±0.11 ^a	4.87±0.15 ^a	4.11±0.10 ^b	4.75±0.05 ^{ab}	4.61±0.08 ^{ab}
	75	4.96±0.10 ^a	4.14±0.12 ^{bc}	4.90±0.05 ^a	4.78±0.20 ^a	4.90±0.10 ^a	4.80±0.07 ^a
	80	3.78±0.16 ^{cd}	4.25±0.15 ^b	4.38±0.07 ^{bc}	4.09±0.11 ^b	4.68±0.13 ^{ab}	4.22±0.09 ^c
Ilık	70	3.98±0.17 ^c	4.63±0.16 ^{ab}	4.50±0.12 ^b	4.13±0.32 ^b	4.51±0.26 ^c	4.16±0.14 ^c
	75	4.30±0.08 ^b	3.80±0.18 ^c	4.35±0.10 ^{bc}	4.51±0.05 ^{ab}	4.72±0.23 ^{ab}	4.47±0.24 ^b
	80	3.62±0.13 ^d	3.62±0.13 ^{cd}	4.10±0.13 ^c	3.82±0.17 ^c	4.60±0.10 ^b	4.00±0.22 ^d

*Her bir özellik için aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p \leq 0.05$)

3.4. Bayatlama özelliği (Staling property)

Farklı randımanlı unlar kullanılarak üretilen ekmeklerin 24, 48 ve 72 saatlik depolamadan sonra bayatlama özelliklerine ait veriler (panelistler tarafından tazelik özelliğine verilen puanlar) Tablo 5'te sunulmuştur. %75 ve %80 randımanlı unlar ile soğuk hamur yöntemine göre ekmek üretiminin, ekmeklerin bayatlama oranını geciktirmede en iyi yöntem olduğu görülmüştür.

Tablo 5. Ekmeklerin bayatlama özelliği (Staling property of bread)*

Hamur Metodu	Randıman (%)	Depolama (saat)		
		24	48	72
Soğuk	70	4.60 ^{ab}	3.76 ^b	2.21 ^{ab}
	75	4.80 ^a	3.80 ^{ab}	2.63 ^a
	80	4.85 ^a	3.92 ^a	2.64 ^a
Ilık	70	4.10 ^b	3.52 ^c	1.20 ^c
	75	4.52 ^{ab}	3.82 ^{ab}	1.66 ^b
	80	4.56 ^{ab}	3.85 ^{ab}	1.68 ^b

*Her bir depolama saati için aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p \leq 0.05$)

Tablo 5 incelendiğinde her iki hamur yönteminde (soğuk ve ılık) randıman oranının artırılmasıyla bayatlama oranının azaldığı yani daha taze ekmek elde edildiği görülmektedir. Venkateswara vd. (1985), Mansour vd. (1988) ve Qarooni vd. (1993)*'ün randıman oranının düz ekmeklerin bayatlama oranı üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmalarda da aynı sonuçlar bildirilmiştir.

Ekmeklerin bayatlama özelliğine ait puanlar arasında istatistiksel açıdan önemli ($p \leq 0.05$) bir farklılık bulunmuştur. Bu farklılığın un randımanından ve hamuru hazırlamak için kullanılan yöntemden kaynaklandığı düşünülmektedir. Qarooni vd. (1993), un randıman oranının pidelerin bayatlama oranı üzerindeki etkisini araştırmış ve aynı sonucu bildirmiştir.

4. Sonuç (Conclusion)

Elde edilen sonuçlar, randıman oranının artmasıyla gluten indeks, Zeleny sedimantasyon ve düşme sayısı değerlerinin düştüğünü, buna karşın nem, kül, ham lif, ham protein, yağ gluten ve kuru gluten değerlerinin arttığını göstermiştir. Öte yandan, randıman oranının artışına bağlı olarak su absorpsiyonu ve yumuşama derecesi gibi farinogram özellikleri artmış, ancak hamur stabilite süresi ve gelişme süreleri azalmıştır. Tüm alveogram özelliklerinde randıman artışına bağlı olarak düşüşler olmuştur. Farklı randımanlı unlardan üretilen Arap ekmeklerinin duysal ve bayatlama özelliklerinde yapılan panelist değerlendirmelerinde tüm randıman oranlarında soğuk yoğurma yönteminin (7°C sıcaklıkta su eklenmiş hamur), ılık yoğurma yöntemine (35°C sıcaklıkta su eklenmiş hamur) göre daha iyi olduğu bulunmuştur. Ayrıca %75 randımanlı unundan yapılan ekmek duysal analizde en yüksek toplam puana sahip olmuştur. Bu çalışmanın sonucunda, Arap ekmeği üretiminde %75 randımanlı unun rahatlıkla kullanılabilmesi ve fırıncılara özellikle soğuk yoğurma yöntemiyle hamur hazırlayabilecekleri önerilmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- AACC, 2010. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of Analysis 11th Edition, Cereals & Grains Association: St. Paul, MN, U.S.A.
- Aamodt, A., Magnus, E. M., Færgestad, E. M., 2005. Hearth Bread Characteristics: Effect of Protein Quality, Protein Content, Whole Meal Flour, DATEM, Proving Time, and Their Interactions. *Cereal Chemistry*, 82 (3), 290-301. doi:10.1094/cc-82-0290
- Al-Saleh, A., Brennan, C.S., 2012. Bread Wheat Quality: Some Physical, Chemical and Rheological Characteristics of Syrian and English Bread Wheat Samples. *Foods*, 1 (1), 3-17. doi:10.3390/foods1010003
- Alhendi, A.S., Ahmed, Z.A., Hussein, M.S., Abed, S.A., 2021. Large Scale Industry Mill: Effect of Extraction Rate of Flour on The Dough Rheological Properties. *Food Research*, 5 (4), 80-85. doi: 10.26656/fr.2017.5(4).026

- Anonim, 2021. Flat Bread Market Size and Demand Industry Research Report, 2026. <https://www.alliedmarketresearch.com/flatbread-market>.
- Anonim, 2013. Türk Gıda Kodeksi Buğday Unu Tebliği. Tebliğ No: 2013/9, Resmi Gazete, 2 Nisan 2013 Salı, Sayı: 28606, Ankara.
- Azizi, M.H., Sayeddain, S.M., Payghambaroost, S.H., 2006. Effect of Flour Extraction Rate on Flour Composition, Dough Rheological Characteristics and Quality of Flat Bread. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 8 (4), 323-330.
- Campbell, G.M., 2007. Roller Milling of Wheat. *Handbook of Powder Technology*, 12, 383-419. doi:10.1016/s0167-3785(07)12010-8
- Cappelli, A., Bettaccini, L., Cini, E., 2020. The Kneading Process: A Systematic Review of The Effects on Dough Rheology and Resulting Bread Characteristics, Including Improvement Strategies. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 91-101. doi:10.1016/j.tifs.2020.08.008
- Cornell, H.J., Hoveling, A.W., 1998. The Milling of Wheat. In: *Wheat: Chemistry and Utilization*, First edition, pp. 43-78, Taylor&Francis Group, CRC Press, Boca Raton, USA.
- Coşkun, Y., Karababa, E., Ercan, R., 1999. Düz Ekmeklerin Üretim Teknolojisi. *Gıda*, 24 (2), 89-97.
- Dowell, F.E., Maghirang, E.B., Pierce, R.O., Lookhart, G.L., Bean, S.R., Xie, F., Caley, M.S., Wilson, J.D., Seabourn, B.W., Ram, M.S., Park, S.H., Chung, O.K., 2008. Relationship of Bread Quality to Kernel, Flour, and Dough Properties. *Cereal Chemistry*, 85 (1), 82-91. doi:10.1094/cchem-85-1-0082
- Fayaz, U., Dar, A.H., Kumar, N., Junaid, P.M., Shams, R., Khan, S.A., 2021. Formulations and Quality Characterization of Low Salt Flat Bread: Effects on Functionality, Rheological and Sensory Properties. *Applied Food Research*, 1 (1), 100005. doi:10.1016/J.AFRES.2021.100005
- Gül, H., Özer, M.S., Dizlek, H., 2009. Improvement of The Wheat and Corn Bran Bread Quality by Using Glucose Oxidase and Hexose Oxidase. *Journal of Food Quality*, 32 (2), 209-223. doi:10.1111/j.1745-4557.2009.00246.x
- Haridas Rao, P., Malini Rao, H., 1991. Effect of Incorporating Wheat Bran on The Rheological Characteristics and Breadmaking Quality of Flour. *Journal of Food Science and Technology*, 28 (2), 92-97.
- Hoseney, R.C., 1988. *Principles of Cereal Science and Technology*. American Association of Cereal Chemists (AACC), St Paul, USA, 378 pp. ISBN: 9780913250792
- Hrušková, M., Švec, I., Jirsa, O., 2006. Correlation Between Milling and Baking Parameters of Wheat Varieties. *Journal of Food Engineering*, 77 (3), 439-444. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.07.01
- ICC, 2002. *Standard Methods of The International Association for Cereal Science and Technology (ICC)*. Printed by ICC, Vienna, Edition 2002.
- Jaekel, L.Z., Silva, C.B., Steel, C.J., Chang, Y.K., 2012. Influence of Xylanase Addition on The Characteristics of Loaf Bread Prepared with White Flour or Whole Grain Wheat Flour. *Food Science and Technology*, 32 (4), 844-849.
- Kent-Jones, D.W., Martin, W., 1950. The Color of Flour. Experiences with The Kent-Jones and Martin Flour Color Grader. *Milling Liverpool*, 115 (10), 235-240.
- Konopka, I., Fornal, L., Abramczyk, D., Rothkaehl, J., Rotkiewicz, D., 2004. Statistical Evaluation of Different Technological and Rheological Tests of Polish Wheat Varieties for Bread Volume Prediction. *International Journal of Food Science and Technology*, 39 (1), 11-20. doi:10.1111/j.1365-2621.2004.00741.x
- Köksel, H., Sivri, D., Özboy, Ö., Başman, A., Karacan, H.D. 2000. *Hububat Laboratuvarı El Kitabı*. Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Ankara. 105s.
- Köten, M., Ünsal, A.S., 2020. Şanlıurfa Yöresine Özgü Tırnaklı (Düz) Ekmekte Bazı Katkı Maddelerinin Kullanımının Ekmek Kalitesine Etkisi. *Gıda*, 45 (3), 473-484. doi:10.15237/gıda.GD19137
- Köten, M., Satouf, M., Ekici, H., 2017. Suriye Ekmegi Üretimi, Üretim Hataları ve Önleme Yolları. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 21 (3), 364-375.
- Kweon, M., Slade, L., Levine, H., Gannon, D., 2014. Cookie-Versus Cracker-Baking—What's The Difference? Flour Functionality Requirements Explored by SRC and Alveography. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54 (1), 115-138. doi:10.1080/10408398.2011.578469
- Kweon, M., Slade, L., Levine, H., 2011. Solvent Retention Capacity (SRC) Testing of Wheat Flour: Principles and Value in Predicting Flour Functionality in Different Wheatbased Food Processes, As Well As in Wheat Breeding – A Review. *Cereal Chemistry*, 88 (6), 537-552. doi: 10.1094/CCHEM-07-11-0092
- Lai, C.S., Hoseney, R.C., Davis, A.B., 1989. Effect of Wheat Bran in Breadmaking. *Cereal Chemistry*, 66 (3), 217-219.
- Mansour, S.M., Hassun, H.F., Kassem, A.M., Rizk, I.R. S., 1988. Effect of Different Extraction Rates of Wheat Flours and Different Types of Yeast on Bread Staling. *Annals of Agricultural Sciences*, 33, 376-381.
- Mir, S.A., Naik, H.R., Sah, M.A., Mir, M.M, Wani, M.H., Bahat, M.A., 2014. Indian Flat Breads: A review. *Food and Nutrition Sciences*, 5 (6), 43696. doi:10.4236/fns.2014.56065
- Mueen-ud-Din, G., ur-Rehman, S., Anjum, F.M., Nawaz, H., Murtaza, M.A., 2010. Effect of Wheat Flour Extraction Rates on Flour Composition, Farinographic Characteristics and Sensory Perception of Sourdough Naans. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 4 (8), 668-674. doi:10.5281/zenodo.1057443
- Özkaya, H., Özkaya, B., 2005. *Tahıl ve Ürünleri Analiz Yöntemleri*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara, 152 s. ISBN:9759822903
- Pasqualone, A., 2018. Traditional Flat Breads Spread From The Fertile Crescent: Production Process and History of Baking Systems. *Journal of Ethnic Foods*, 5 (1), 10-19. doi:10.1016/j.jef.2018.02.002
- Ramírez-Wong, B., Walker, C.E., Ledesma-Osuna, A.I., Torres, P.I., Medina-Rodríguez, C.L., López-Ahumada, G.A., Salazar-García, M.G., Ortega-Ramírez, R., Johnson, A.M., Flores, R.A., 2007. Effect of Flour Extraction Rate on White and Red Winter Wheat Flour Compositions and Tortilla Texture. *Cereal Chemistry*, 84 (3), 207-213. doi:10.1094/cchem-84-3-0207
- Rababah, T., Alu'datt, M., Al-Mahasneh, M., Gammoh, S., Al-Obaidy, M., Ajouly, T., Bartkute-Norküniene, V., 2019. The Effect of Different Flour Extraction Rates on Physicochemical and Rheological Characteristics. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25 (3), 581-588.

- Qarooni, J., Bequette, R., Deyoe, C., 1994. The Performance of U.S. Hard White Wheats: Effect of Milling Extraction on Flour, Pan Bread, Tortilla and Pita (Arabic) Bread Quality. *LWT - Food Science and Technology*, 27 (3), 270-277. doi:10.1006/fstl.1994.1054
- Qarooni, J., Posner, E.S., Ponte, J.G., 1993. Production of Tanoor Bread with Hard White and Other U.S. Wheats. *LWT - Food Science and Technology*, 26 (2), 100-106. doi:10.1006/fstl.1993.1022
- Qarooni, J., Orth, R.A., Wootton, M., 1987. A Test Baking Technique for Arabic Bread Quality. *Journal of Cereal Science*, 6 (1), 69-80. doi:10.1016/s0733-5210(87)80042-5
- Quail, K.J., McMaster, G.J., Wootton, M., 1991. Flat Bread Production. *Food Australia*, 43 (4), 155-157.
- Quail, K.J., McMaster, G. J., Tomlinson, J.D., Wootton, M., 1990. Effect of Baking Temperature/Time Conditions and Dough Thickness on Arabic Bread Quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 53 (4), 527-540. doi:10.1002/jsfa.2740530410
- Slade, L., Levine, H., 1994. Structure-Function Relationships of Cookie and Cracker Ingredients. In: *The science of cookie and cracker production*, H. Faridi (Ed.), (pp. 23-141). New York: Chapman & Hall/AVI.
- Venkateswara Rao, G., Indrani, D., Shurpalekar, S.R., 1985. Effect of Milling Methods and Extraction Rate on The Chemical, Rheological and Breadmaking Characteristics of Wheat Flours. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 22, 38-42.
- Williams, P.C., El-Haramein, F.J., Nelson, W., Srivastava, J.P., 1988. Evaluation of Wheat Quality for The Baking of Syrian-Type Two-Layered Flat Breads. *Journal of Cereal Science*, 7 (2), 195-207. doi:10.1016/s0733-5210(88)80020-1
- Yang, Y., Guan, E., Zhang, T., Li, M., Bian, K., 2019. Influence of Water Addition Methods on Water Mobility Characterization and Rheological Properties of Wheat Flour Dough. *Journal of Cereal Science*, 89, 102791. doi:10.1016/j.jcs.2019.102791.



YÜKSEKÖĞRETİMDE SONDÖR EĞİTİMİ

Hakan ELÇİ^{1*}, Zülfü DEMİRKIRAN²

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Geoteknik Programı, İzmir, Türkiye

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Sondaj Teknolojisi Programı, İzmir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Sondör Eğitimi,
Mesleki Yeterlilik,
Nitelikli Eleman.*

Öz

Türkiye’de, 1930’lu yıllarda kamu kurumlarında usta çırak ilişkisi olarak başlayan sondör eğitimi, ilerleyen yıllarda ülkemizin köklü kamu kurumlarındaki sondör ihtiyacını da karşılamak için kurum içi mesleki eğitim ve kurslarla devam etmiştir. 90’lı yıllara gelindiğinde ise hem kamu hem de özel sektörün sondör ihtiyacını karşılayabilmek için yükseköğretimde ön lisans düzeyinde program açılması ihtiyacını doğurmuştur. Yükseköğretimde altı yıl sadece bir üniversitede ön lisans düzeyinde devam eden sondör eğitimi, 2000’li yıllar da farklı üniversitelerde de sondör eğitime yönelik benzer programların açılması ile devam etmiştir. Bu süreçte sondör eğitime yönelik açılan programlardan bazıları, laboratuvar alt yapı, uygulamalar için gerekli sondaj makinası eksikliği ve coğrafi konum gibi nedenlerden dolayı yeterli talep görmemiş ve kısa bir süre sonra kapanmıştır. Yükseköğretimde ön lisans düzeyinde verilen eğitim ile 2621 sondör yetiştirilmiştir. 2022 yılı itibariyle yükseköğretimde dört üniversitede ve toplamda 91 kontenjan ile sondör eğitimi devam etmektedir. Bu üniversitelerden ilki su, zemin ve maden sondajları ağırlıklı sondör eğitimini bünyesindeki sondaj makineleri ile uygulamalı olarak gerçekleştirirken, kronolojik olarak ikinci ve üçüncü sırada yer alan üniversitelerde verilen sondör eğitimi ağırlıklı olarak petrol sondajına yöneliktir. Yakın tarihte sondör eğitime başlayan üniversite de ise ders müfredatında yer bilimleri derslerinin, teorik mesleki derslerden daha fazla olması ve uygulama derslerine yönelik sondaj makinasının bulunmaması gibi nedenlerden dolayı yakın gelecekte programın kapanması da muhtemeldir. Bugün gelinen nokta yükseköğretimde sondör eğitiminin sadece teorik mesleki dersler ile sürdürülemeyeceği, teorik derslerin yanı sıra en az bir sömestrlik bilfiil mesleki uygulamalı eğitime de yer verilmesinin gerekliliği göstermektedir.

DRILLER EDUCATION IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS IN TURKEY

Keywords

*Driller Education,
Vocational Training,
Qualified
Technician.*

Abstract

Driller training has started as a master-apprentice relationship in public institutions in the 1930s in Turkey. In the following years, it continued with vocational training and courses in order to meet the driller needs in well-established public institutions. By the 90s, it was necessary to open an associate degree program in higher education in order to meet the driller needs of both the public and private sectors. The driller training education at associate degree level continued in only one university for six years in higher education. After the 2000s similar programs in different universities has started this education. Some of these programs did not receive enough demand and had to be closed after a short time due to reasons such as lack of laboratory infrastructure, drilling equipment required for applications and geographical location. With the education given at the associate degree level in higher education, 2621 drillers were trained. In 2022, driller training education continues in four universities with a total of 91 quotas in higher education. While the first of these universities carries out the driller training education mainly on water, ground and mine drilling practical with the drilling machines, chronologically second and third ranked universities provide driller education mainly for oil drilling. At the university, which recently started driller education, the number of

* İlgili yazar / Corresponding author: hakan.elci@deu.edu.tr +90-232-853-1828

earth science courses is higher than the theoretical vocational courses and there is a lack drilling machine for practice lessons, so it is also possible that this program will be closed in the near future due to these reasons. The present situation reveals that driller education in universities cannot be sustained only with theoretical vocational courses, in addition to it is necessary to include at least one semester of practical vocational training.

Alıntı / Cite

Elçi, H., Demirkıran, Z., (2023). Yükseköğretimde Sondör Eğitimi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 360-375.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Elçi, 0000-0003-2945-2548
Z. Demirkıran, 0000-0001-9507-2864

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	24.06.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	02.09.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	02.09.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

DRILLER EDUCATION IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS IN TURKEY

Hakan Elçi^{1†}, Zülfü Demirkıran²

¹Dokuz Eylül University, Torbalı Vocational School, Geotechnical Department, İzmir, Turkey

¹Dokuz Eylül University, Torbalı Vocational School, Drilling Technology Department, İzmir, Turkey

Highlights

- In the study, programs that provide drilling education in higher education were examined.
- Drilling education is incomplete without the necessary infrastructure for practical education in higher education.
- The diploma given by the associate degree programs should be used as a drilling document.

Purpose and Scope

Drilling is the process of drilling and digging cylindrical holes for research, development, operation or special purposes in any solid medium, horizontal, vertical or angled, with specially equipped tools. The drilled hole is called a borehole, the machine that does the opening is called a drilling machine, and the qualified personnel using this machine are called drillers.

What is meant by qualified personnel is to take the right decision as soon as possible during the drilling of the borehole and put it into practice. The driller is responsible for the management and administration of the borehole from the beginning to the end, the safe working of the people working with him during the shift he works, and the correct use of the machinery and materials in his hands in accordance with the standards.

Gaining such a qualification to a person is only possible after a long-term theoretical and practical training is given together. In our country, this task has been undertaken by associate degree programs opened in vocational schools of universities.

Design/methodology/approach

Data such as the quota, the number of candidates placed and the program occupancy rate of the drilling technology programs of the vocational schools of different universities used in the study were obtained from the web page of Student Selection and Placement Center and YOK Atlas Program web page. The physical infrastructure of the drilling technology programs, the curriculum, how the application courses are carried out and the numerical data of the graduates were obtained from the web pages of the vocational colleges of the relevant universities and by contacting the lecturers of the drilling technology programs.

Findings

Driller education at the associate degree level in universities started in the 90s. Over time, a program providing driller education was opened in seven different universities. As of 2022, some of these programs, which provide driller training, did not receive sufficient demand due to reasons such as laboratory infrastructure, lack of drilling equipment required for applications and geographical location, and were closed after a short time.

[†] İlgili yazar / Corresponding author: hakan.elci@deu.edu.tr +90-232-853-1828

To date, 2621 drillers have been trained with the education given at the associate degree level in Higher Education. As of 2022, drillers education continues in four universities with a total of 91 quotas in higher education. While the first of these universities performs driller training mainly on water, soil and mine drilling with the drilling machines within its structure, the driller education given in the universities that are in the second and third place chronologically is mainly focused on oil drilling.

Originality

In the university, which has recently started drill education, it is likely that the program will be closed in the near future due to reasons such as the fact that earth sciences courses are more than theoretical vocational courses in the curriculum and there is no drilling machine for practice courses. The point reached today shows that final education in higher education cannot be sustained only with theoretical vocational courses, and it is necessary to include at least one semester of actual vocational training in addition to theoretical courses.

1. Giriş (Introduction)

Sondaj dilimize Fransızcadan geçmiş bir sözcüktür. Özel donanımlı gereçlerle her türlü katı ortamda, yatay, düşey veya açılı olacak şekilde, araştırma, geliştirme, işletme veya özel amaçlı silindirik delikler açma, kazma işlemidir. Açılan/kazılan deliğe sondaj kuyusu, açma/kazma işini yapan makineye sondaj makinası, bu makineyi kullanan nitelikli personele de sondör denir.

Petrol, doğal gaz, su, maden, endüstriyel hammadde, doğal taş ve kömür gibi doğal kaynakların aranması; baraj, santral, gölet kanal ve regülatör gibi mühendislik yapılarının oturacağı alanların zemin koşullarının saptanması; tünel güzergahlarının seçimi amacıyla genellikle yüzeysel jeoloji çalışmalarının ardından üçüncü boyut olan yeraltı jeolojisini aydınlatmak için sondaj kuyusu açılmasına gereksinim duyulur. Bununla birlikte ekonomik önemi olan doğal kaynakların bulunduğu alanlarda geliştirme ve üretimin artırılması gibi amaçlar sondajın yapılmasını gerektirir. Sondaj, bilimsel olarak saptanan amaca ulaşmak için yine bilimsel ve ekonomik olarak kullanılması gereken bir araçtır (JMO, 1979).

Mesleki Yeterlilik Kurumu'nun meslek tanımında "*Sondör (Seviye 4); iş sağlığı ve güvenliği ile çevre koruma önlemlerini alarak, kalite gereklilikleri çerçevesinde; mesleği ile ilgili iş organizasyonu yapan, çalışma sahasının topografik şartlarına göre proje ve/veya talimatında belirlenmiş lokasyona, makine ekip ve ekipmanlarının sevkini ve kurulumunu yapan; ilgili teknik şartnamede belirtilen normlara uygun şekilde çeşitli ölçü ve çaplarda kuyu/delgi açan; proje/talimata göre numune alan ve mesleki gelişime ilişkin faaliyetleri yürüten nitelikli kişidir*" (MYK, 2017). Nitelikten kasıt, sondaj kuyusunun açılması sırasında, doğru kararı en kısa zamanda alıp uygulamaya koyabilmektir. Sondör, sondaj kuyusunun başlangıcından bitimine kadar, sevk ve idaresinden, çalıştığı vardiya sürecinde yanında çalışan kişilerin emniyetli bir şekilde çalışabilmesinden, elindeki makine ve malzemelerin doğru ve standartlara uygun bir şekilde kullanımından sorumludur.

Kişiyeye bu tarz bir nitelik kazandırılması ise ancak uzun süreli teorik ve uygulamalı eğitimin birlikte verilmesi sonrası ile mümkündür. Ülkemizde bu görevi üniversitelerin meslek yüksekokullarında açılan ön lisans programları üstlenmiştir (Hacımustafaoğlu vd., 2017a).

Bu çalışmada günümüzde artık oldukça gelişmiş makinelerle yapılan sondaj uygulamaları için yükseköğretimde mevcut sondaj teknolojisi programlarında verilen 4 sömestrlik sondör eğitimi; ders müfredatı, yüksekokulların sahip olduğu alt yapı ve sondaj makineleri yeterliliğinin gerek kamu gerekse özel sektörün nitelikli elaman ihtiyacını ne derece karşıladığı değerlendirilmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

İlk sondajın, Çin'de tuzlu sudan, tuz üretmek için MÖ 2000-2250'li yıllarda açıldığı tahmin edilmektedir (Yalçın 1991; Kuhn, 2004). Çin'in Sichuan eyaletinde, batıdaki sondaj uygulamalarından çok daha önce basitte olsa sondaj tekniği ile tuzlu su ve doğal gazın ortak üretimini içeren eski bir tuz üretim endüstrisinden bahseden tarihi kaynaklar mevcuttur (Kuhn, 2004). Bu sondaj tekniğinde; demirden bir matkap uç (Şekil 1A ve B), insan gücü kullanılarak, tahterevallik tekniği ile belirli bir yükseklikten kaya üzerine serbest düşürülür (Şekil 2). Kayaya çarpan matkap ucu, kayayı parçalayarak toz haline getirir. Kuyu içinden sulu kaya kırıntısı ise, bambudan üretilmiş ve beyler (bailer) kovaşına benzer bir düzenek ile kuyu dışına alınır (Şekil 1C). Kullanılan sondaj tekniğinde matkap dışında neredeyse tüm sondaj teçhizatı için bambu kullanılmıştır. Şekil 1D'de kuyu açama sırasında kuyu içine düşen veya kuyu içinde kalan sondaj ekipmanlarının alınması için geliştirilen tahlisiye düzeneğinin bir modeli görülmektedir.

Şüphesiz insan gücü kullanılması, santim santim ilerlemeye ve açılan kuyunun tamamlanmasının uzun süreler almasına sebep olmuştur. Kullanılan bu teknik günümüz darbeli sondaja oldukça benzerdir ve pirincin, pirinç unu haline getirilmesinden ilham alındığı tahmin edilir (Kuhn, 2004).

Batıda ise bilinen en eski sondaj kuyusu, M. S. 1126 yılında Fransa'nın eski yerleşim merkezlerinden Artois'da, basınçlı akiferde açılan su kuyusudur. Artezyen kelimesi bu bölge ile ilişkilendirilir. Yine batıda bilinen ilk darbeli sondaj kuyusu, hayvan gücü kullanılarak 1808'de Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD), Virginia eyaletinde, tuz madeninde 18 m derinliğe kadar, Raffner kardeşler tarafından yapılmıştır. 1831 de ise Billy Morris isimli bir sondajcı darbeli sondaj dizisini ve buharlı motoru kullanarak modern sondajı uygulayan ilk kişi olmuştur. Dünyadaki ilk petrol sondaj kuyusu, 20 m derinlikte, Pennsylvania'da (ABD) darbeli sondaj tekniği kullanılarak açılmıştır. M.C. Bulluck 1867'de Pennsylvania'da (ABD) bir kömür madeninde rotari sondaj tekniği kullanılarak 200 m derinlikte bir kuyu açmıştır. 1867'de ABD'de Henry Kelly yaptığı bir makina ile ücret karşılığı başkalarına sondaj yapan ilk kişi olmuştur. 1910 yılında Nebraska'da (ABD) H.C. Minnick isimli bir sondajcı, kendi ürettiği diyaframli bir pompa ile ilk kez ters dolaşimli rotari sondajı yapmıştır (Yalçın 1991).



Şekil 1. Çinlilerin Tuzlu Su Elde Etmek İçin Açtıkları İlk Sondaj Ekipmanları. Tuz Müzesi (Shanxi, Çin). A: Kuyu Başında İlk Büyük Çaplı Deliği Oluşturmak İçin Kullanılan Uzun Ve Ağır Uç Olan Balık Kuyruğu Matkap. B: Kullanılan Diğer Matkaplar. C: Kuyu Dibiindeki Ufalanmış Kaya Parçalarını (Çamur) Yukarı Çekmek İçin Kullanılan Beyler Kovası. D: Kuyu Dışı Tahliye Ekipmanları (The First Drilling Equipment Opened By The Chinese To Obtain Salt Water. Salt Museum (Shanxi, China). A: Fishtail Bit, A Long And Heavy Bit Used To Create The First Large Diameter Hole At The Wellhead. B: Other Drills Used. C: Bailer Bucket Used To Pull Up Crumbled Rock (Mud) At The Bottom Of The Well. D: Downhole Evacuation Equipment)

Türkiye'de ilk sondaj çalışmaları 1887'de İskenderun'a bağlı Çengen köyünde Almanlar tarafından petrol arama amaçlı açılan sığ kuyulardır. Ülkemizde ikinci sondaj çalışması, yine petrol arama amacı ile 1892'de, Tekirdağ, Gaziköy'de yapılmıştır. Bu sondaj o dönem İstanbul'da yaşayan Seferyan adında bir sondöre yaptırılmıştır. 1898'de Tekirdağ'a bağlı Şarköy'de 82 m, İsterne'de 43 m ve Mürefte 74 m derinliğinde petrol arama amacıyla Osmanlı Bankası tarafından bir Fransız şirketine sondajlar yaptırılmıştır. Bakırköy Ruh ve Sinir Hastalıkları Hastanesinin su ihtiyacını karşılamak için 1920 açılan su kuyusu, ülkemizde yazılı bilgi bulunan ilk su sondaj çalışmasıdır. Ülkemizde ilk derin petrol kuyusu 1934 yılında Midyat'ta 1351 m derinlikte, darbeli sondaj tekniği kullanılarak, 1933 yılında kurulan Petrol Arama ve İşletme İdaresi adına yapılmıştır (Yalçın 1991).



Şekil 2. Kuzey Song Hanedanlığı'ndan (MS 960-1127) Modern Sondaj Tekniği Rekreasyonu. (Kuhn, 2004)
(A Modern Recreation Of Sounding Techniques From The Northern Song Dynasty. AD 960-1127)

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışmada kullanılan farklı üniversitelerin meslek yüksekokullarının sondaj teknolojisi programlarına ait kontenjan, yerleşen aday sayısı ve program doluluk oranı gibi veriler, Öğrenci Seçme ve Yerleştirme Merkezi Başkanlığı (ÖSYM) web sayfasından ve Yüksek Öğretim Kurumu (YOK) Atlas Programı web sayfasından alınmıştır. Sondaj teknolojisi programlarına ait fiziki alt yapı, ders programı, uygulama derslerinin ne şekilde gerçekleştirildiği ve mezunlara ait sayısal veriler ise ilgili üniversitelerin meslek yüksekokulu web sayfalarından ve sondaj teknolojisi programları öğretim üyeleri ile iletişime geçilerek temin edilmiştir.

Program Doluluk Oranı (%) = (Program Kontenjan Sayısı)/(Programa Yerleşen Öğrenci Sayısı)x100 eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

4. Türkiye'de Sondör Eğitiminin Gelişimi (Development of Driller Education in Turkey)

4.1. Kamu Kurumlarında Sondör Eğitimi (Driller Education in Public Institutions)

Türkiye'de sondör eğitiminin temeli, 1935 yılında Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü'nün (MTA) kurulması ile başlayan sondaj çalışmalarına dayanır. MTA, sondajcılığın ülkemizde yayılması ve gelişmesinde önemli rolü olan öncü kurum olmuştur (MTA, 2022). MTA'nın kurulması ile birlikte Türkiye'de sondaj arama çalışmaları başlamış ve dolayısıyla sondör ihtiyacı doğmuştur. MTA başlangıçta maden arama sondajları, ilerleyen yıllarda jeotermal amaçlı sondajlar için sondör ihtiyacını uzun yıllar kurum içi eğitimler ile gidermiştir.

Sondör eğitimimde ikinci kamu kurumu Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı'dır (TPAO). TPAO, Türkiye'de kamu adına hidrokarbon arama, sondaj, üretim, rafineri ve pazarlama faaliyetlerinde bulunmak amacıyla 1954'de kurulmuş ve yapılan yasal düzenlemeler ile 1983 yılından sonra ise sadece hidrokarbon arama ve üretim projeleri yürüten petrol şirketi olarak faaliyetlerine devam etmiştir (TPAO, 2022). Günümüzde ham petrol ihtiyacımızın yaklaşık %9'unu doğal gaz ihtiyacımızın da %1'i, TPAO'nun uzun yıllar boyunca, önceleri karada son yıllarda denizlerimizde de yaptığı arama sondajları ile mümkün olmuştur. Günümüzde halen oldukça kompleks sondaj

makinaları ile derin kuyular açan TPAO ihtiyacı olan sondörleri uzun yıllar boyunca kurum içi eğitim ile yetiştirmiştir.

1956 yılında Devlet Su İşlerinin (DSİ) kurulması ve 1960 yılında çıkarılan 167 sayılı Yeraltı Suları Hakkındaki Kanun ile ülkemizin yeraltı sularının araştırılması, bulunması ve elde edilen bilgilerin kamu yararına yayımlanması görevlerinin DSİ'ye verilmesi ile DSİ, dünyadaki en büyük su sondaj makina filolarından birini kurmuş ve sondör dahil uygun elaman kadrosunu oluşturmuştur (Yalçın, 1991; DSİ, 2022). Her üç kurumda adeta bir okul gibi yetkin sondörler yetiştirerek ilgili kamu kurumlarının ihtiyacını karşılamıştır. Hatta bu sondörler kamu kurumlarından emekli olduktan sonra özel sektörün ihtiyacını karşılamak için sondör olarak çalışmaya devam etmişlerdir. Günümüzde sondaj hem sondaj makinesi ve ekipmanları hem de yedek parça ve tedariki ile oldukça büyük bir sektör kolu olmuş adına sempozyumlar düzenlenerek sektördeki gelişmeler sondaj ortak disipline gönül veren insanları bir araya getirmiştir.

4.2. Yükseköğretimde Sondör Eğitimi (Driller Education in Higher Education Institutions)

Türkiye'de yükseköğretimde sondör eğitimi, sondaj sektöründe yer alan kurum ve kuruluşların (13 kamu ve 250'den fazla özel sektör kuruluşu) görüşleri doğrultusunda ilk defa Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ), Torbalı Meslek Yüksekokulu'nda (TMYO), 1993 yılında "Sondajcılık Programı" adı ile ön lisans düzeyinde 20 öğrenci kontenjanı ile başlamıştır. Altı yıl boyunca yükseköğretimde sondör eğitimi veren pilot ön lisans programı olmuştur. Çeyrek asırdan fazla bir süre ile ülke için nitelikli sondörler yetiştirmeye devam etmektedir.

Yükseköğretimde ön lisans düzeyinde sondör eğitimi 1999 Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kaman Meslek Yüksekokulunda (KAEÜ-KMY) açılan Sondajcılık Programı ile devam etmiştir. Daha sonra 2002 yılında Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Hekimhan Meslek Yüksekokulunda Sondajcılık programı ile, 2006 yılında Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulunda (AÜ-TBMY) ve 2008 yılında Batman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulunda (BÜ-TBMY), Petrol Sondajı ve Üretimi programı ve yine 2008 yılında Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulunda (CBÜ-SMY) Sondajcılık programları ile yükseköğretimde sondör eğitimi sürdürülmüştür.

2009 yılında Yüksek Öğretim Kurumunun, International Standard Classification of Education (ISCED) "Uluslararası Standart Eğitim Sınıflandırması" uyumu çerçevesinde yaptığı güncelleme ile bölüm kodları kapsamında sondör eğitimi veren bu farklı program isimleri "Madencilik ve Maden Çıkarma" bölümü altında toplanarak "Sondaj Teknolojisi" adını almıştır. 2018 yılında Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Çan Meslek Yüksekokulunda (Ç18MÜ-ÇMY) Sondaj Teknolojisi programı açılmıştır.

Son olarak Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi (ZBEÜ) ve Türkiye Petrolleri- Offshore Technology Center (TP-OTC) iş birliği -Çaycuma Meslek Yüksekokulunda (ÇMY), Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü altında, Açık Deniz Sondaj Teknolojisi ve Açık Deniz Tabanı Uygulamaları Teknolojisi Programları ile 2022-2023 öğretim yılında, yükseköğretimde ön lisans düzeyinde sondör eğitimine yeni bir soluk getirilmiştir. 60 öğrenci kontenjanı bulunan programlar TP-OTC'in 12 ay boyunca öğrencilere sağladığı burs ve uzun dönem staj ve mezuniyet sonrası iş imkânları ile %100 doluluk oranına ulaşmıştır. Her iki programda bir yıl İngilizce hazırlık zorunludur. Dört yarıyılık öğretim programında, öğretim dili %30 İngilizcedir. Programlarda verilecek sondör eğitimi açık deniz sondaj platformlarına yöneliktir (ZBEÜ-ÇMY, 2022).

Toplamda Yükseköğretimde yedi farklı üniversitede sondör eğitimi veren bu ön lisans programlarından KAEÜ-KMY, MTÖÜ-HMY ve CBÜ-SMY'ler de olanlar yeterince öğrenci talebi olmaması nedeniyle kapanmıştır. Bugün yükseköğretimde dört farklı üniversitede 91 kontenjan ile Sondaj Teknolojisi Programında sondör eğitimi verilmektedir (Tablo 1).

4.2.1. Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu Sondaj Teknolojisi Programı (Dokuz Eylül University Torbalı Vocational School Drilling Technology Program)

Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu Sondaj Teknolojisi Programı, yükseköğretimde ön lisans düzeyinde sondör eğitimi veren ilk programdır. Öğrenci alımına 1993 yılında başlamış ve 1995 yılında ilk mezunlarını vermiştir. Programın öğretim süresi 4 dönem, 2 yıldır ve ikinci öğretimi yoktur. Programa kayıt yaptıran öğrenciler mezun olabilmek için yaklaşık 110 ulusal kredi (Uk) veya 120 Avrupa Kredi Transfer Sistemi (Aks) ders almalıdır. Ayrıca birinci ve ikinci yıl sonrası yaz dönemlerinde 20 iş günü uygulamalı meslek stajını başarılı bir şekilde tamamlaması gereklidir (Tablo 2). Yüksekokulda yer bilimleri ağırlıklı ön lisans programları olduğu için bünyesinde; jeoloji ve kayaç bilgisi, kaya mekaniği, zemin mekaniği, çamur, kimyasal proses ve mikroskop laboratuvarları mevcuttur (Tablo 3 ve Şekil 3). Bu alt yapı imkânları ile birlikte su, zemin ve maden sondajları yapabilen sondaj makinalarına sahiptir (Tablo 4). Yüksekokul bünyesinde bir adet 600 m kapasiteli

Failing 1500 ve bir adet 1500 m kapasiteli GMC marka/modelli su sondaj makinası bulunmaktadır (Şekil 4 A ve E). Sondaj teknolojisi öğrencileri su sondajı derslerinin uygulamasını yüksekokul kampüs alanında bulunan sondaj şantiyesinde Failing 1500 su sondaj makinası ile açtıkları kuyular ile gerçekleştirir (Şekil 4 A). Program öğrencileri zemin sondajı ve arazi deneyleri gibi uygulamaya yönelik eğitimleri ise yine yüksekokul bünyesinde bulunan ve 150 m kapasiteleri olan Longyear ve D500 marka sondaj makineleri ile gerçekleştirir (4C, D ve F). Maden sondajına yönelik uygulama eğitimlerini de Longyear marka, 500 m kapasiteli, 1500 m kapasiteli Sonmak marka (Levent 3003) sondaj makinelerinde tamamlar. Programın ilk açıldığı yıllardan 2000 yıllara kadar program öğrencileri su ve zemin sondajı derslerinin uygulamalarını yüksekokulun sektöre verdiği hizmetler kapsamında yapılan sondajlarda bilfiil çalışarak gerçekleştirmişlerdir (Şekil 5 ve 6). Sonraki yıllarda başta program öğretim üyelerinin bu uygulamalara akademik ilerleme kaygısı ile zaman ayıramamaları ve resmî kurumların özel sektöre verdiği hizmet prosedürünün yükü gibi nedenler ile vaz geçilerek sadece yüksekokul kampüs alanındaki sondaj şantiyesinde devam edilmiştir. Sondaj teknolojisi programı öğrencileri yaz döneminde yapacakları birinci yıla ait meslek stajlarını, staj komisyonunca belirlenen firmalarda yaparlar.

Staj komisyonu, öğrencinin staj yapacağı firmaları belirlerken, firmada sondaj makine ekipmanının alt yapısının zengin olmasına, firma bünyesinde mutlaka yer bilimleri ortak disipline ait bir mühendisin olmasına ve firmanın iş güvenliği prosedürlerine uyması gibi kriterlere dikkat eder. Bu koşulları sağlayan firmalara stajyer gönderilir. Staj komisyonu, staj boyunca stajyer gönderdiği firmalar ile iletişim halinde olarak öğrencinin mesleki gelişimi hakkında bilgi edinir. İkinci yıla ait meslek stajına gönderilen öğrenciler, staj sonrası mesleğe başlayacakları firmalara gönderilir. İsteyen mezun, mezuniyet sonrası ikinci stajını tamamladığı firmada mesleğine başlar. Genellikle stajyer gönderilen firmalar öğrencilerimize asgari ücret veya daha fazla bir ücret ödeyerek staj sonrası çalışmalarını için öğrencileri mesleğine teşvik ederler. Program bünyesinde bulunan dış ilişkiler komisyonu aracılığı ile dış paydaşlar ile olan ilişkiler çerçevesinde yılda en az 2 defa dış paydaşlar yüksekokula davet edilerek seminerler düzenlenir. Bu seminerler sonrası dış paydaşların ihtiyaçları ve önerileri doğrultusunda ders müfredatında güncellemeler yapılır. DEU-TMY sondaj teknolojisi programı açıldığı günden günümüze kadar 349 sondör mezun vermiştir.

Tablo 1. Türkiye’de Sondaj Teknolojisi Eğitimi Veren Üniversitelerin 2018-2022 Yıllarına Ait Sayısal Bilgiler (OSYM, 2002; YokAtlas, 2022) (Numerical Data Of Universities Providing Drilling Technology Education Between 2018-2022 In Turkey OSYM, 2002; YokAtlas, 2022)

Üniversite/Meslek Yüksekokulu	Program Açılış Yılı	Öğretim Yılı	Program Kontenjanı	Yerleşen Öğrenci Sayısı	Doluluk oranı (%)	Mezun Sondör Sayısı
Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu (DEÜ-TMY)	1993	2021-2022	25+1	26	100	349
		2020-2021	20+1	21	100	
		2019-2020	20+1	21	100	
		2018-2019	15+1	16	100	
*Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu (KAEÜ-KMY)	1999	2021-2022			0	251
		2020-2021			0	
		2019-2020	30+1	2	6	
		2018-2019			0	
*Malatya Turgut Özal Üniversitesi Hekimhan Meslek Yüksekokulu (MTÖÜ-HMY)	2002	2021-2022			0	209
		2020-2021			0	
		2019-2020	30+1	6	19	
		2018-2019			0	
Adıyaman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu (AÜ-TBMY)	2006	2021-2022	25+1	16	62	766
		2020-2021	25+1	26	100	
		2019-2020	15+1	16	100	
		2018-2019	15+1	16	100	
Batman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu (BÜ-TBMY)	2008	2021-2022	40+1	9	22	476
		2020-2021	40+1	31	76	
		2019-2020	30+1	31	100	
		2018-2019	20+1	21	100	
*Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu (CBÜ-SMY)	2008	2021-2022	0	0	0	87
		2020-2021	0	0	0	
		2019-2020	0	0	0	
		2018-2019	0	0	0	
Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Çan Meslek Yüksekokulu (Ç18MÜ-ÇMY)	2018	2021-2022	25+1	8	31	7
		2020-2021	25+1	17	65	
		2019-2020	25+1	10	38	
		2018-2019	-	-	0	

*Kapanmış sondaj teknolojisi programlarını gösterir.



Şekil 3. DEÜ-TMY Sondaj Teknolojisi Programı Laboratuvarları. A: Jeoloji Ve Kayaç Bilgisi Laboratuvarları. B: Kaya Mekanikği Laboratuvarı. C: Zemin Mekanikği Laboratuvarı. D: Çamur Laboratuvarı. E: Kimyasal Proses Laboratuvarı. F: Mikroskop Laboratuvarı (DEU-TMY Drilling Technology Program Laboratories. A: Geology Laboratory. B: Rock Mechanics Laboratory. C: Soil Mechanics Laboratory. D: Mud Laboratory. E: Chemical Process Laboratory. F: Microscope Laboratory)



Şekil 4. DEÜ-TMY Sondaj Teknolojisi Programı Su, Zemin Ve Maden Sondajı Makinaları. A: 600 M Kapasiteli Failing 1500 Marka Su Sondaj Makinası. B: 1500 M Kapasiteli Sonmak Marka (Levent 3003) Maden Sondaj Makinası. C: 150 M Kapasiteli D500 Marka Zemin Sondaj Makinası. D: 150 M Kapasiteli Longyear Marka Zemin Sondaj Makinası. E: 1500 M Kapasiteli GMC Marka Su Sondaj Makinası. F: 500 M Kapasiteli Longyear Marka Zemin-Maden Sondaj Makinası. F: Sığ Deniz Sondajları İçin 16 m² Yüzey Alanına Sahip Duba Ve 150 M Kapasiteli Longyear Marka Zemin Sondaj Makinası (DEU-TMY Drilling Technology Program Water, Soil And Mine Drilling Machines. A: Failing 1500 Brand Water Drilling Machine With 600 M Capacity. B: Sonmak Brand (Levent 3003) Mining Drilling Machine With A Capacity Of 1500 M. C: D500 Brand Soil Drilling Machine With 150 M Capacity. D: Longyear Brand Soil Drilling Machine With 150 M Capacity. E: 1500 M Capacity GMC Brand Water Drilling Machine. F: Longyear)



Şekil 5. Deü-Tmy 1995-1996 Yılları Arası Su Ve Zemin Sondaj Uygulamaları. A Ve B: Yüksekokul Kampüsünde Açılan Ve Sondaj Teknolojisi Programının İlk Su Kuyusu. C: Deü-Tmy Kampüsü İçinde Zemin Sondajı Uygulaması (Water And Ground Drilling Applications Between Deu-Tmy 1995-1996. A And B: The First Water Well Of The Drilling Technology Program Opened On The Deu-Tmy Campus. C: Soil Drilling Application In Deü-Tmy Campus)

4.2.2. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu Sondaj Teknolojisi Programı (Kırşehir Ahi Evran University Hekimhan Vocational School Drilling Technology Program)

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu Sondaj Teknolojisi Programı yükseköğretimde ön lisans düzeyinde sondör eğitimi veren ikinci programdır. Program 1999 yılında Sondajcılık adıyla 20 öğrenci ile sondör eğitimine başlamıştır. Öğrencilerin programdan mezun olabilmeleri için 4 dönem boyunca yaklaşık 110 Uk veya 120 Akts kredilik ders alması ve 30 günlük meslek stajı yapmaları gerekir (Tablo 2). Program 2009 yılında ISCED kodları kapsamında Sondaj Teknolojisi adını almıştır.

Program alt yapısında jeoloji/mineraloji ve kaya mekaniği laboratuvarına ek olarak ait bir adet su sondaj makinası vardır (Tablo 3 ve 4). Program 2018 yeterli talep görmemesi nedeniyle kapanmıştır. Açıldığı günden günümüze kadar program 251 sondör mezun vermiştir.

4.2.3. Malatya Turgut Özal Üniversitesi Hekimhan Meslek Yüksekokulu Sondaj Teknolojisi Programı (Malatya Turgut Özal University Hekimhan Vocational School Drilling Technology Program)

Malatya Turgut Özal Üniversitesi Hekimhan Meslek Yüksekokulu Sondaj Teknolojisi Programı yükseköğretimde ön lisans düzeyinde sondör eğitimi veren üçüncü programdır. Program 2002 yılında Sondajcılık adıyla 30 öğrenci ile sondör eğitimine başlamıştır. Öğrencilerin programdan mezun olabilmeleri için 4 dönem boyunca yaklaşık 110 Uk veya 120 Akts kredilik ders alması ve 30 günlük meslek stajı yapmaları gerekir (Tablo 2). Program 2009 yılında ISCED kodları kapsamında Sondaj Teknolojisi adını almıştır.

Program alt yapısında jeoloji/mineraloji, kaya ve zemin mekaniği laboratuvarı mevcuttur (Tablo 3). Ayrıca programa ait CFM 2000 ve FL 1500 marka/model iki adet su sondaj makinası, TSM 750 ve AKCER marka/model zemin sondaj makinası vardır (Tablo 4). Program 2018 yeterli talep görmemesi nedeniyle kapanmıştır. Açıldığı günden günümüze kadar program 209 sondör mezun vermiştir.



Şekil 6. DEÜ-TMY 1997-20010 Yılları Arası Su Ve Zemin Sondajı Uygulamaları. A Ve D, DEÜ-TMY Kampüsü İçinde Eğitim Amaçlı Su Sondajı Uygulaması. B, Duba Üzerine Yerleştirilen Sığ Deniz Zemin Sondajı. C, Özel Sektör İçin Yapılan Zemin Sondajı. E, Özel Sektör İçin Yapılan Su Sondajı (Water And Soil Drilling Applications Between DEÜ-TMY 1997-20010. A And D, Water-Drilling Application For Educational Purposes In DEÜ-TMY Campus. B, Shallow Offshore Soil Drilling Placed On The Pontoon. C, Soil Drilling For The Private Sector. E, Water Drilling For The Private Sector)

4.2.4. Adıyaman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Sondaj Teknolojisi Programı (Adıyaman University Vocational School of Technical Sciences Drilling Technology Program)

Adıyaman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Sondaj Teknolojisi Programı yükseköğretimde ön lisans düzeyinde sondör eğitimi veren dördüncü programdır. Program 2006 yılında Petrol Sondajı ve Üretimi adıyla 50 öğrenci ile sondör eğitimine başlamıştır. Öğrencilerin programdan mezun olabilmeleri için 4 dönem boyunca yaklaşık 110 Uk veya 120 Akts kredilik ders alması ve 45 günlük meslek stajı yapmaları gerekir (Tablo 2). Program 2009 yılında ISCED kodları kapsamında Sondaj Teknolojisi adını almıştır.

Program alt yapısında jeoloji/mineraloji, kaya, zemin mekaniği, çamur ve kimyasal proses laboratuvarı mevcuttur (Tablo 3). Programın sondaj makinası alt yapısı yoktur (Tablo 4). Sondaj uygulama dersleri için TPOA'nın Adıyaman ilinde bulunan arama ve üretim faaliyetleri halen devam ettiği şantiyesinde teknik geziler ile gerçekleştirirler. Programın ders müfredatı mevcut teorik yer bilimleri dersleri ve teorik sondaj derslerine ek ve diğer sondaj programlarından farklı olarak 20 Uk veya 22 Akts petrol ve üretimine yönelik dersler de vardır.

Programa 2019 yılına kadar meslek liseleri öğrencilerinin sınavsız geçiş hakkı tanınmıştır. Ayrıca programın ikinci öğretimi de vardır. Bu nedenler ile kısa sürede 766 mezun vermiştir.

4.2.5. Batman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Sondaj Teknolojisi Programı (Batman University Vocational School of Technical Sciences Drilling Technology Program)

Batman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Sondaj Teknolojisi Programı yükseköğretimde ön lisans düzeyinde sondör eğitime başlayan beşinci program olmuştur. Program 2008 yılında Petrol Sondajı ve Üretimi

adıyla 40 öğrenci ile sondör eğitimine başlamıştır. Öğrencilerin programdan mezun olabilmeleri için 4 dönem boyunca yaklaşık 110 Uk veya 120 Akts kredilik ders alması ve 45 günlük meslek stajı yapmaları gerekir (Tablo 1). Program 2009 yılında ISCED kodları kapsamında Sondaj Teknolojisi adını almıştır.

Program alt yapısında jeoloji/mineraloji ve kaya mekaniği laboratuvarı mevcuttur (Tablo 3). Programın sondaj makinası alt yapısı yoktur (Tablo 4). Sondaj uygulama dersleri için TPOA'nın Batman ilinde bulunan arama ve üretim faaliyetleri halen devam ettiği şantiyesinde teknik geziler ile gerçekleştirirler. Programın ders müfredatı mevcut teorik yer bilimleri dersleri ve teorik sondaj derslerine ek ve diğer sondaj programlarından farklı olarak 20 Uk veya 22 Akts petrol ve üretimine yönelik dersler de vardır.

Programa 2019 yılına kadar meslek liseleri öğrencilerinin sınavsız geçiş hakkı tanınmıştır. Ayrıca programın ikinci öğretimi de vardır. Bu nedenler ile kısa sürede 476 mezun vermiştir.

4.2.6. Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Sondaj Teknolojisi Programı (Celal Bayar University Soma Vocational School Drilling Technology Program)

Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Sondaj Teknolojisi Programı yükseköğretimde ön lisans düzeyinde sondör eğitimi veren altıncı programdır. Program 2008 yılında Sondajcılık adıyla 20 öğrenci ile sondör eğitimine başlamıştır. Öğrencilerin programdan mezun olabilmeleri için 4 dönem boyunca yaklaşık 110 Uk veya 120 Akts kredilik ders alması ve 30 günlük meslek stajı yapmaları gerekir (Tablo 2). Program 2009 yılında ISCED kodları kapsamında Sondaj Teknolojisi adını almıştır. Programın laboratuvar alt yapısı yoktur (Tablo 3). Programa ait bir adet maden sondaj makinası vardır (Tablo 4). Program 2018 yeterli talep görmemesi nedeniyle kapanmıştır. Açıldığı günden günümüze kadar program 87 sondör mezun vermiştir.

4.2.7. Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Çan Meslek Yüksekokulu Sondaj Teknolojisi Programı (Çanakkale 18 Mart University Çan Vocational School Drilling Technology Program)

Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Çan Meslek Yüksekokulu Sondaj Teknolojisi Programı yükseköğretimde ön lisans döneminde açılan son (2019) programdır. Program öğrencilerinin programdan mezun olabilmeleri için 106 Uk veya 120 Akts kredi ders almaları gerekir. Ayrıca 30 gün meslek stajını başarılı bir şekilde tamamlamış olmaları gereklidir (Tablo 1). Program laboratuvar alt yapısı yönünden oldukça eksiktir. Program alt yapısında sadece jeoloji/mineraloji laboratuvarı vardır (Tablo 3). Bununla birlikte programda sondaj uygulamaları için sondaj makinaları yoktur. Sondaj uygulama dersleri program öğrencilerine teorik olarak verilmektedir (Tablo 4). Program 2019'dan bugüne kadar 7 mezun vermiştir.

Tablo 2. Sondaj Teknolojisi Programlarının Ders Dağılımları (Course Distributions Of Drilling Technology Programs)

Üniversite/MYO	DEÜ-TMY	AÜ-TBMY	BÜ-TBMY	Ç18MÜ-ÇMY
Dersler	n/Uk/Akts	n/Uk/Akts	n/Uk/Akts	n/Uk/Akts
YÖK Dersleri	6/12/12	6/8/11	6/8/11	6/12/8
Sayısal Beceriler	2/4/4	2/5/6	2/4/5	2/5/6
Bilişim Dersleri	3/7/11	2/4/5	2/4/5	3/9/8
Temel Mesleki Dersler	13/30/37	13/38/42	13/47/57	18/55/62
Seçmeli Mesleki Dersler	15/33/47	10/24/28	10/24/28	1/2/1
Sondaj Dersleri ve Uyg.	7/28/28	12/34/38	12/33/39	6/21/23
Petrol ve Petrol Üretimi	0/0/0	7/20/22	7/20/22	0/0/0
Sosyal/Seçmeli Dersler	6/12/14	9/22/26	9/22/26	-
İlk Yardım/İş Güvenliği	2/3/3	2/6/7	2/6/7	2/4/5
Staj (takvim günü)	60 gün/0/10	45 gün/0/8	45 gün/0/8	30 gün/0/8

n: Ders sayısı, Uk: Ulusal kredi, Akts: Avrupa kredi transfer sistemi

Tablo 3. Sondaj Teknolojisi Programlarının Laboratuvar Olanakları (Laboratory Facilities Of Drilling Technology Programs)

Üniversite/MYO	DEÜ	KAEÜ	MTÖÜ	AÜ	BÜ	CBÜ	Ç18MÜ
Labaratuvar	TMY	KMY	HMY	TBMY	TBMY	SMY	ÇMY
Jeoloji ve Mineraloji	+	+	+	+	+	-	+
Kaya Mekaniği	+	+	+	+	+	-	-
Zemin Mekaniği	+	-	+	+	-	-	-
Çamur	+	-	-	+	-	-	-
Kimyasal Proses	+	-	-	+	-	-	-
Bilgisayar	+	+	+	+	+	+	+
İnce kesit	+	-	-	-	+	-	-

Tablo 4. Sondaj Teknolojisi Programlarının Sondaj Makinası Olanakları (Drilling Machines Of Drilling Technology Programs)

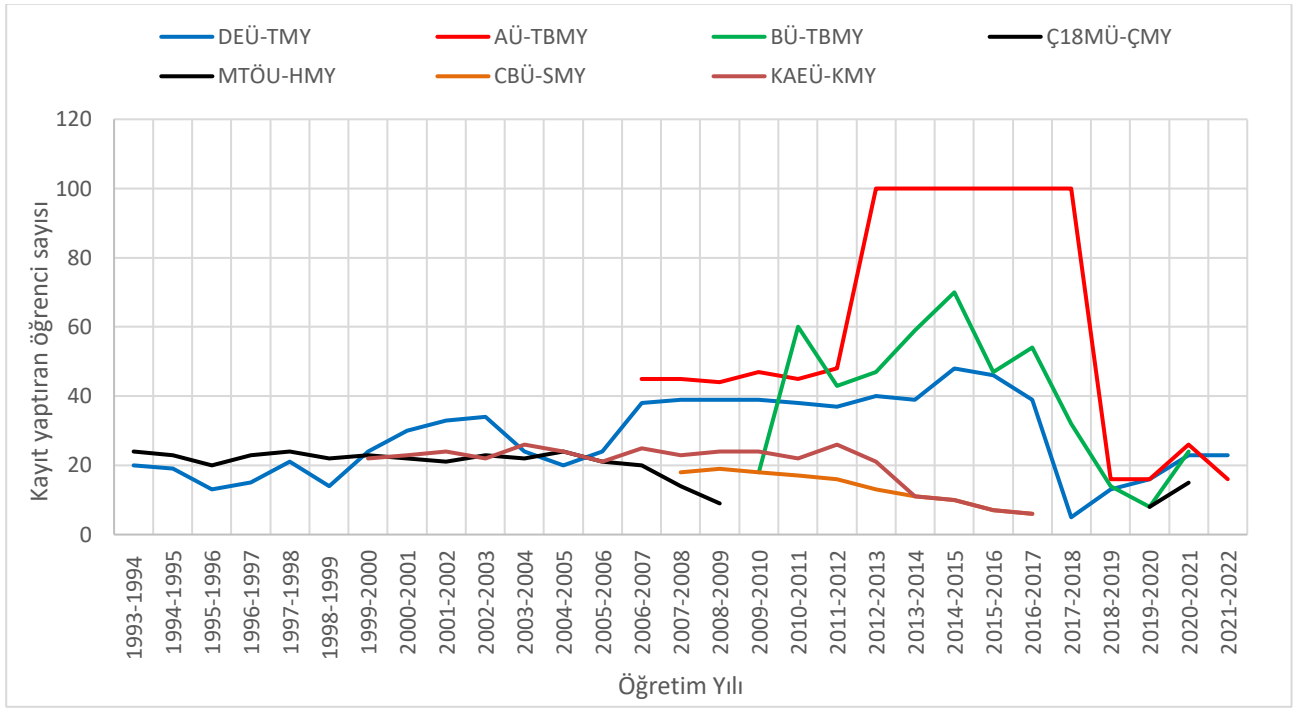
Üniversite/MYO	DEÜ	KAEÜ	MTÖÜ	AÜ	BÜ	CBÜ	Ç18MÜ
Sondaj Makinası	TMY	KMY	HMY	TBMY	TBMY	SMY	ÇMY
Su sondajı makinası	2	1	2	-	-	-	-
Maden sondajı makinası	1	-	-	-	-	1	-
Zemin sondajı makinası	4	-	2	-	-	-	-
Duba (sığ deniz sondajı için)	1	-	-	-	-	-	-

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

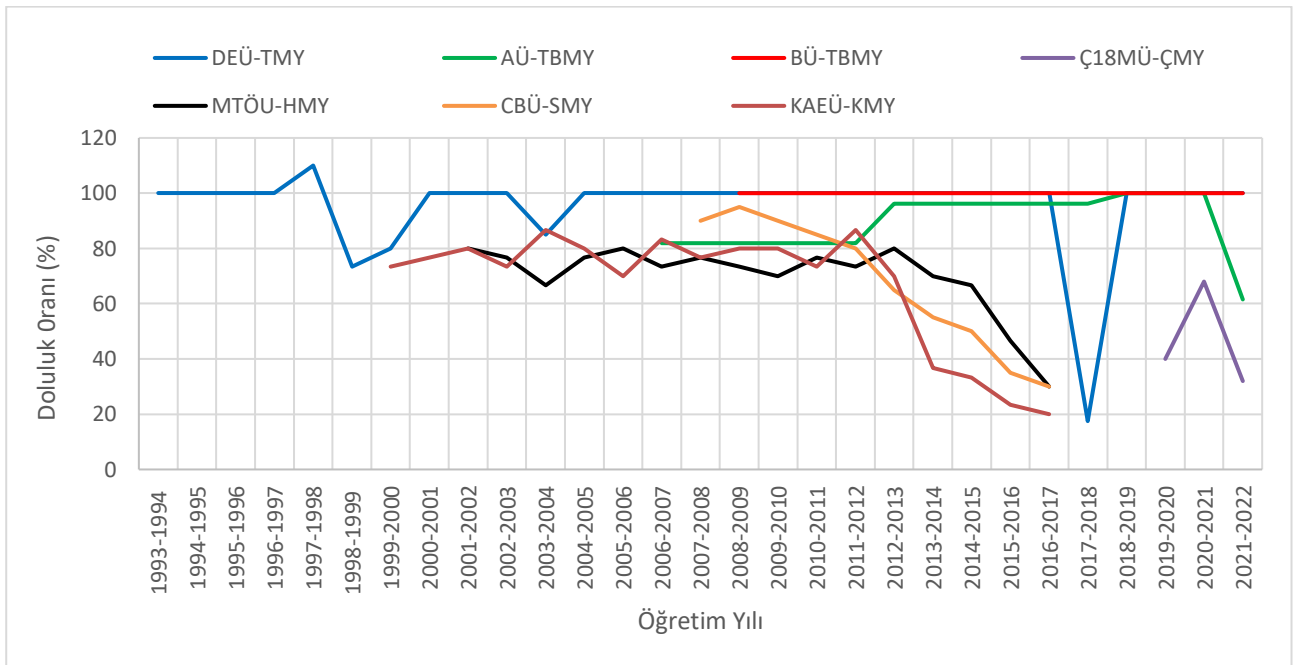
Yükseköğretimde 1993 yılında ön lisans düzeyinde 20 kontenjan ile başlayan sondör eğitimi, sonraki yıllarda altı farklı üniversitede de yeni sondaj teknolojisi programlarının açılmasıyla devam etmiştir. Bu süre içerisinde bu programlardan KAEÜ-KMY'da, MTÖÜ-HMY'da ve CBÜ-SMY'da açılan sondaj teknolojisi programları coğrafi konum, fiziki alt yapı ve sondaj uygulama dersleri için gerekli sondaj makinalarının eksikliği nedeniyle kapanmıştır (Şekil 7 ve 8). Günümüzde sondör eğitime devam eden AÜ-TBMY ve BÜ-TBMY'da yer alan ve petrol sondajı/üretimine ağırlık veren sondaj teknolojisi programı ise hem yüksek kontenjan hem de programın ikinci öğretiminde açılması ile kısa sürede diğer üniversitelerde yer alan programlardan daha fazla sondör mezunu vermiştir (Şekil 9). Kısa sürede diğer üniversitelerdeki sondaj teknolojisi programlarından daha fazla sondör mezun etmiş olmalarına rağmen bu programlara merkezi sınav ile yerleştirilen öğrencilerin programa kayıt yaptırma sayısı ve programın doluluk oranlarında gözle görülür bir düşüş olmuştur (Şekil 7 ve 8). Bunun nedeni, bu programlardaki ikinci öğretimin kapatılması ve program kontenjanının düşürülmesidir. Bu iki üniversitedeki sondaj teknolojisi programlarında uygulama dersleri için gerekli sondaj makinalarının eksikliği ve bu eksikliğin TPOA'nın şantiyelerine birkaç gün gibi kısa süre zarfında düzenlenen teknik geziler ile giderilmeye çalışılması sürdürülebilir uygulamalı sondör eğitime oldukça uzaktır. Her iki sondaj teknolojisi programının da yakın gelecekte daha az tercih edilebileceği yüksek muhtemeldir. 2018 yılı itibarıyla sondör eğitime başlayan Ç18MÜ-ÇMY sondaj teknolojisi programına ait kontenjan ve doluluk oranı gibi sayısal verileri, AÜ-TBMY ve BÜ-TBMY'da yer alan sondaj teknolojisi programlarından daha düşüktür. Son üç yıla ait ortalama program doluluk oranı %50'den daha azdır. Ayrıca Ç18MÜ-ÇMY sondaj teknolojisi programının ders müfredatın, sondaj tekniği derslerinden ziyade yer bilimleri ağırlıklı olması ve yine uygulama dersleri için gerekli sondaj makinasının bulunmaması nedeniyle bu üniversitedeki sondaj teknolojisi programının da yakın gelecekte kapanacağını öngörülebilir.

1993 yılında sondör eğitime başlayan DEU-TMY sondaj teknolojisi programı hem sahip olduğu fiziki alt yapı hem de sahip olduğu su, zemin ve maden sondaj makine ekipmanları sayesinde yükseköğretimde uygulamalı sondör eğitimi veren en istikrarlı ön lisans programıdır. Açıldığı yıldan günümüze kadar olan süreçte programa yıllık 20-40 arası değişen sayıda öğrenci kayıt yaptırmıştır. 1997-1998 ve 2017 -2018 öğretim yılları dışında program doluluk oranı %80'nin üzerindedir. Bununla birlikte 2022-2023 öğretim yılında ZBEÜ-ÇMY'da, TP-OTC iş birliği ile açılan Açık Deniz Sondaj Teknolojisi ve Açık Deniz Tabanı Uygulamaları Teknolojisi Programları, TP-OTC operasyon lokasyonlarında uzun dönem stajlarla desteklenecek olması, teorinin pratiğe taşınacağı, yerinde öğrenme modelinin uygulanacağı programlar, yükseköğretimde sondör eğitimi konusunda oldukça önemli bir gelişmedir.

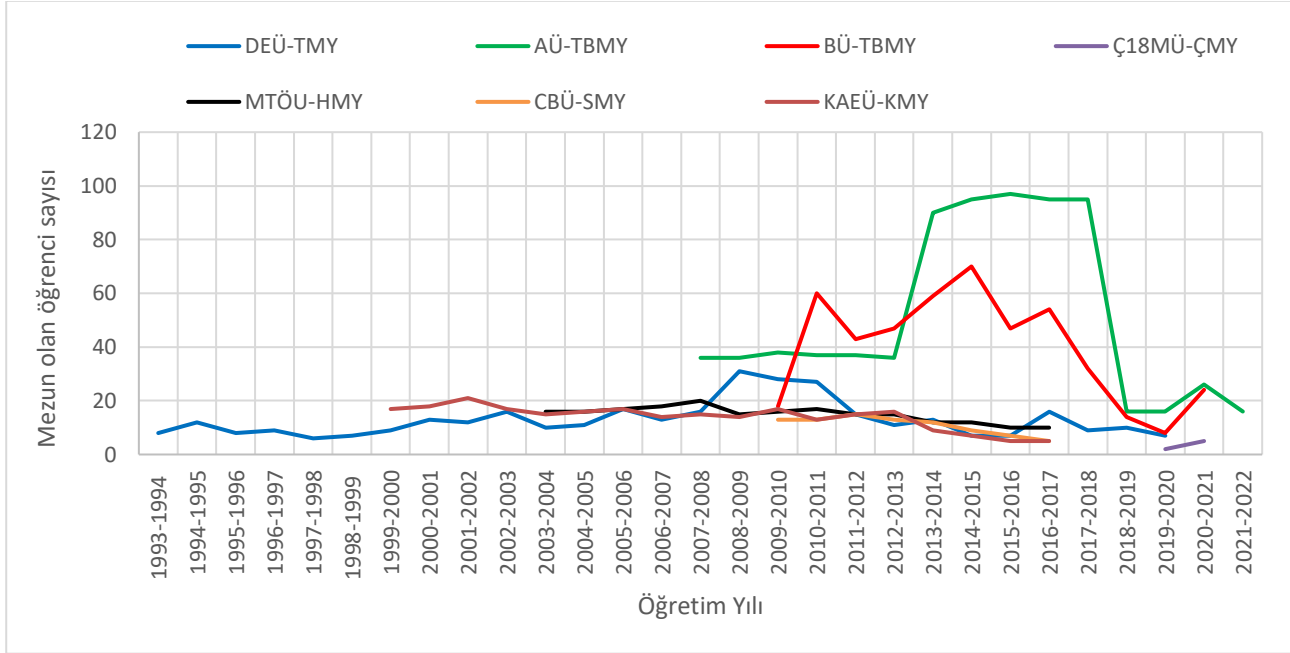
Yükseköğretimde sondör eğitimi veren programların başarısının önündeki engellerden ilki, programdan mezun olan öğrencilere verilen diplomaların sondör yeterlilik belgesi yerine geçmemesi ve sondör yeterlilik belgesine sahip olabilmek için, mezun olan öğrencilerin DSİ'nin yaptığı sondör yeterlilik belgesi sınavına girip başarılı olma şartının aranmasıdır. Bu sınav, bir bakıma yükseköğretimde iki yıl, dört dönem boyunca verilen eğitimin yetersiz olduğunu anlamına gelir. Bu konuda yapılacak yasal düzenleme ile sondaj teknolojisi program mezunlarını diplomalarının, sondör yeterlilik belgesi olarak da kullanılmasının önü açılmalıdır.



Şekil 7. 1993-2022 Yılları Arası Sondaj Teknolojisi Eğitimi Veren Üniversitelere YOK Tarafından Tanımlanan Kontenjan Ve OSYM Tarafından Yerleştirilen Öğrenci Sayısı (OSYM, 2002; YokAtlas, 2022) (The Quota Determined By YOK And The Number Of Students Placed By OSYM To Universities Providing Drilling Technology Education Between 1993-2022, OSYM, 2002; YokAtlas, 2022)



Şekil 8. 1993-2022 Yılları Arası Farklı Üniversitelerdeki Sondaj Teknolojisi Programlarının Doluluk Oranı (Occupancy Rate Of Drilling Technology Programs In Different Universities Between 1993-2022)



Şekil 9. 1993-2022 Yılları Arası Farklı Üniversitelerdeki Sondaj Teknolojisi Programlarından Mezun Olan Öğrenci Sayısı (Number Of Students Who Graduated From Drilling Technology Programs In Different Universities Between 1993-2022)

Sondaj Teknolojisi programların başarısının önündeki ikinci engel ise Dikey Geçiş Sınavıdır (DGS). DGS 15 Ekim 1999 yılında resmî gazetede ilan edilmiş (T.C. Resmî Gazete, 1999) ve 2000- 2001 öğretim döneminde yürürlüğe girmiş ön lisans mezunlarının lisans tamamlamasına olanak sağlayan ve meslek yüksekokulların bazı bölümlerinin başarı oranını olumsuz yönde etkileyen bir sınav sistemidir (Hacımustafaoğlu vd., 2017b; Hacımustafaoğlu vd., 2018). Sondaj teknolojisi programı mezunu öğrencileri fakültelerin jeoloji, jeofizik, maden, petrol ve doğal gaz lisans programlarına DGS sınavı ile geçiş yapabilirler. Bu lisans programlarının çokluğu ve mevcut kontenjanlarının %10'u DGS ile gelen öğrencilere ayırmış olması, sondaj teknolojisi mezunlarının bahsi geçen lisans programlarına rahatlıkla geçiş yapmalarına imkân vermiş ve sektöre çok az mezun gönderilmesine neden olmuştur. Bu süreç 2016 yılına kadar devam etmiş, 2016 yılında harita teknikerliği ön lisans programlarına da bahsi geçen bazı lisans programlara dikey geçiş imkânı tanınması, sonrasında ilgili lisans programlarının öğrenci azlığı sebebiyle kapanması ile sondaj teknolojisi programı ön lisans mezunları için bir rekabet ortamı oluşturmuştur. Bu sebeplerden dolayı sondaj teknolojisi mezunlarının DGS ile lisans tamamlama oranı ciddi anlamda azalmıştır.

DEÜ-TMY sondaj teknolojisi programı sahip olduğu sondaj makineleri ve ekipmanları ile yükseköğretimde uygulamalı sondör eğitimi veren tek ön lisans programıdır. Bununla beraber sahip olduğu sondaj makinalarının ve ekipmanlarının yaşlı olması ve yakın zamanda kamuda iş güvenliği prosedürlerinin işlemeye başlaması gibi nedenlerden dolayı uygulamalı sondör eğitiminde birtakım aksaklıklar olması muhtemeldir. Bu aksaklıklar DEÜ-TMY sondaj teknolojisi programına kurulacak "sondaj simülasyon ünitesi" ile aşıla bilir. Böylelikle hem iş güvenliği prosedürleri sağlanmış olunur hem de daha modern bir sondör eğitimi verilmiş olunur.

Bir diğer konu yükseköğretimde sondör eğitimi veren sondaj teknolojisi programlarının ders müfredatlarında zemin iyileştirme makinalarının (Jet grout, fore kazık, enjeksiyon ve derin karıştırma) kullanımına yönelik derslerin olmamasıdır. Mevcut sondaj teknolojisi programları ders müfredatlarını güncelleyerek sektörün ihtiyacı doğrultusunda zemin iyileştirme makinalarının kullanımına yönelik derslere yer vermesi programdan mezun olan sondörler için bir avantaj olacaktır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar olarak başta yüksekokul kurucu müdürümüz emekli öğretim üyesi Prof. Dr. Faruk Çalapkulu'na, DEÜ-TMY Sondaj Teknolojisi programına verdiği katkıdan dolayı emekli öğretim üyesi Prof. Dr. Niyazi Aksoy'a ve DEÜ-TMY Sondaj Teknolojisi program öğrencilerinin sondaj uygulamalarını gerçekleştirdiği sondaj manikalarını yüksekokulumuza kazandıran kamu kurum ve kuruluşlarına teşekkür ederiz. Ayrıca diğer yükseköğretim kurumlarında yer alan Sondaj teknolojisi programlarına ait fiziki alt yapı ve makine ekipman imkânlarını, ders müfredatı ve programa ilişkin sayısal verileri bizlerle paylaşan AÜ-TBMY'dan Dr. Öğr. Üyesi Ulaş İnan Sevimli'ye ve Doç. Dr. Senem Tekin'e, MTÖÜ-HMY'ndan Öğr. Gör. A. Kadir Pektaş'a, BÜ-TBMY'ndan Doç. Dr. Sema Tetiker'e, CBÜ-SMY'ndan Öğr. Gör. Erkan Hafizoğlu'na, Ç18MÜ-ÇMY'ndan Doç. Dr. Fırat Şengün'e ve makalenin

değerlendirme aşamasında önerileri ile katkılar sağlayan hakemlere ve bu derginin çıkarılmasında emeği geçen tüm yayın ekibine teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- DSİ, 2022. <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/692>
- Hacımustafaoğlu, R., 2017a. Mermer Sektöründe Mesleki Yeterlilik Konusundaki Gelişmeler, Bu Süreçte Mesleki Eğitim ve Yükseköğretimlerin Önemi. *Mesleki Bilimler Dergisi* 6 (1), 39-44
- Hacımustafaoğlu, R., Aksay, K., E., Elçi, H., 2017b. Türk Doğal Taş Sektörü Açısından Nitelikli Ara Elaman Sorunu ve Mesleki Eğitim. *Mesleki Bilimler Dergisi* 6 (3), 730-737.
- Hacımustafaoğlu, R., Elçi, H., Şentürk, M., 2018. Dikey Geçiş Sınavının (DGS) Mesleki Eğitim Üzerine Etkileri: Doğal Taş Sektörü Örneği. *Mesleki Bilimler Dergisi* 7 (1), 18-27.
- JMO., 1979. Sondajcılıkta Jeoloji Mühendisliğinin Yeri, TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası, Sondajcılık Komisyonu, Ankara, Sayı 7.
- Kuhn, O., 2004. Ancient Chinese Drilling. Recorder, Official publication of the Canadian Society Exploration Geophysicist, 66, 6.
- MTA, 2022. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/sondaj-hizmetleri>
- MYK, 2017. Mesleki Yeterlilik Kurumu, Ulusal Meslek Standardı. Sondör, Seviye 4, 17UMS0629-4. Resmi Gazete. 29.11.2017-30255.
- OSYM (Öğrenci Seçme ve Yerleştirme Merkezi) 2022.
- Resmî Gazete, 1999. 15 Ekim, sayı. 23847. <http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/23847.pdf>
- TPAO, 2022. <https://www.tpao.gov.tr/hakkimizda>
- Yalçın, A., 1991. Sondaj Yöntemleri ve Uygulamaları, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- YOKATLAS, 2022. <https://yokatlas.yok.gov.tr/onlisans-program.php?b=30078>
- ZBEÜ-ÇMY, 2022. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Çaycuma Meslek Yüksekokulu Tanıtım Kitapçığı. TP_OTC_UniversiteTanitimKatalog_24x20cm_v1_r4.pdf - Google Drive



NANO WC KOMPOZİTLERDE Fe-Ni ORANIN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Esad KAYA*, Mustafa ULUTAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Eskişehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Toz Metalurjisi,
Metal Matrisli Kompozitler,
Mekanik Özellikler.*

Öz

Günümüzde geniş bir kullanım alanına sahip olan WC içerikli metal matrisli kompozitler (MMK) önemli mühendislik malzemelerindendir. Bu kompozit malzemeler kesici takım malzemesi endüstrisinin çok önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Co, sinterlenmiş karbürler için en çok kullanılan bağlayıcı matris fazıdır. Dünya üzerinde kısıtlı tedariki nedeniyle fiyat dalgalanması ve özellikle karjyonik etkileri nedeniyle Co'nun alternatifler ile değiştirilmesi bilimsel literatürde yoğun bir ilgi konusudur. Bu durum alternatif bağlayıcı matris arayışlarını daha da arttırmaktadır. Mevcut çalışmaların farklı bileşikler ve alaşımlara odaklandığı görülmektedir. Bu çalışmada, ucuz ve zararlı etkileri azaltılmış MMK malzeme üretimi amaçlanmıştır. WC, Fe, Ni ve C tozları kullanılarak toz metalurjisi yöntemi ile farklı kimyasal bileşime sahip MMK malzemeler üretilmiştir. Deneysel çalışmalarda tozlar homojen karıştırma işlemi yapıldıktan sonra, eksenel ve soğuk izostatik olarak preslenmiş ve basınçsız argon ortamında sinterlenmişlerdir. Üretilen numunelerin mikroyapı (yoğunluk, faz) ve mekanik (sertlik, elastisite modülü, kırılma tokluğu) özellikleri deneysel ve ampirik olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada bağlayıcı faz olarak farklı oranlarda Fe, Ni ve C katkısının mikroyapı ve mekanik özelliklere olan etkisi araştırılmıştır. Fe ve Ni katkıları için kritik bir oranın olduğu ve tespit edilen miktarın üstünde katılmasının kırılma tokluğunu azalttığı tespit edilmiştir. En uygun kimyasal bileşim, mikroyapı ve mekanik özelliklere göre belirlenmiştir.

THE EFFECT OF Fe-Ni RATIO ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES IN NANO WC COMPOSITES

Keywords

*Powder Metallurgy,
Metal Matrix Composites,
Mechanical Properties.*

Abstract

WC-content metal matrix composites (MMC), which have a wide usage area today, are essential engineering materials. These composite materials constitute a vital part of the cutting tool material industry. Co is the most commonly used binder matrix phase material for sintered carbides. Replacing Co with alternatives is a subject of intense interest in the scientific literature due to the price fluctuation caused by limited supply globally and especially its carcinogenic effects. This situation further increases the search for alternative binding matrices. Current studies seem to focus on different compounds and alloys. In this study, it is aimed to produce cheap MMC materials with reduced detrimental effects. MMC materials with different chemical compositions were

* İlgili yazar / Corresponding author: esatkaya@ogu.edu.tr, +90- 0222-2393750-3374

produced by powder metallurgy method using WC, Fe, Ni, and C powders. In the experimental studies, the powders were pressed axially and cold isostatically and sintered in an unpressurized argon environment after homogeneous mixing. The produced samples' microstructure (density, phase) and mechanical (hardness, modulus of elasticity, fracture toughness) properties were investigated experimentally and empirically. The study investigated the effect of Fe, Ni and C additives in different ratios as the binding phase on the microstructure and mechanical properties. It has been determined that there is a critical ratio for Fe and Ni additives, and the addition of above the determined amount reduces the ampirical fracture toughness. The chemical composition with the most suitable content in the samples was determined according to the microstructure and mechanical properties.

Alıntı / Cite

Kaya, E., Ulutan, M., (2023). Nano WC Kompozitlerde Fe-Ni Oranın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 376-393.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
E. Kaya, 0000-0002-7332-6154	Başvuru Tarihi / Submission Date	04.02.2022
M. Ulutan, 0000-0003-1821-6486	Revizyon Tarihi / Revision Date	24.06.2022
	Kabul Tarihi / Accepted Date	02.12.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

THE EFFECT OF Fe-Ni RATIO ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES IN NANO WC COMPOSITES

Esad KAYA*, Mustafa ULUTAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Eskişehir, Türkiye

Highlights

- Fe-Ni based composites successfully produced.
- Elastic modulus has been improved due to transformation toughening.
- Palmqvist fracture toughness has been increased with the addition of Fe-Ni

Graphical Abstract

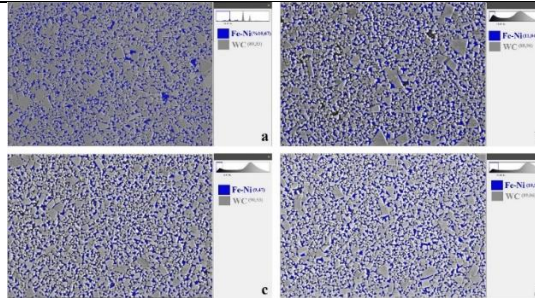


Figure. Numerical area of the weighted phase ratios

Purpose and Scope

* Corresponding author: esatkaya@ogu.edu.tr, +90- 0222-2393750-3374

To reduce the usage of the Co binder in sintered carbides.

Design/methodology/approach

Theoretical calculation were firstly setup. Material production and analysis has been successfully made.

Findings

The newly formed material's mechanical exhibits superior performance.

Originality

The paper could be easily distinguishable due to based on extraordinary chemical content.

1. Giriş (Introduction)

Partikül içerikli MMK malzemeler düşük fiyat, iyi şekil alabilirlik ve işlenebilirlik gibi özellikleriyle bir ilgi odağı halindedirler (Ibrahim I.A. vd., 1991). Bu özellikler malzemenin mikroyapısı ve özelliklerine, faz bileşenlerine, ara yüzey davranışlarına, partiküllerin içerik, dağılım, şekil ve boyutuna göre değişmektedir. Malzemelerde uygulanabilecek farklı oranlarda faz birleşimi sayesinde tür ve mikroyapı çeşitliliği nedeniyle oldukça farklı tasarımlar yapmak mümkündür (Liu B.vd., 1994).

Sinterlenmiş karbürler birden fazla bileşik ve elementten oluşan partikül içerikli MMK yapılarıdır. Sinterlenmiş karbürler genellikle farklı karbür yapılarından üretilmektedir. WC, sinterlenmiş karbürlerde en yaygın olarak kullanılan malzemelerdendir. Yüksek sıcaklıklarda sertliğini ve kimyasal kararlılığını koruması ve diğerlerine göre üretiminin kolay olması WC'ü başlıca sinterlenmiş karbür malzemelerinden biri yapmaktadır. WC'ü takım malzemesi yapan en önemli unsurlardan biri de bağlayıcı Co ile farklı oranlarda oluşturduğu kompozitlerdir. WC'e tokluk ve elastisite kazandıran önemli bağlayıcılardan biri olan Co'nun birçok avantajı vardır. Bunlar: çok iyi ıslanabilirlik, WC içinde iyi çözünebilirlik, benzer ısıl iletim katsayısı ve WC ile yaptığı sıvı faz sinterlemesi şeklinde sıralanabilir (Davis, J.R. 2001). Fakat Co'nun süperalaşımının ve batarya elektrod parçalarının ana elementlerinden biri olması birim fiyatını yükseltmektedir (Patricia A.P. ve Thomas S.J., 1999). Ayrıca ciddi bir deri alerjisi olması ve cilt kanseri tetikleyicisi olduğu da bilinmektedir (Fischer F. ve Rystedt I., 1983). Düşük maliyet ve hızlı imalat için sürekli geliştirilen malzemelerde insan ve çevre sağlığına zararı olmayan alternatif bağlayıcı malzeme arayışı devam etmektedir. Mevcut literatür araştırıldığında, Co'a alternatif matris malzemesi olarak Mn, Si, V, Ni, Ru, Re, Mo elementleri Ni-V, Ni-Zn, Co-Mn, Cu-Ni, Ni-V gibi intermetalik ve alaşımların kullanılmasıyla da olumlu sonuçlar alındığı görülmektedir (Penrice T.W., 1987; Siemiaszko D. vd., 2010). Bahsedilen bu durumlar Ni bağlayıcı içerikli kompozit malzemelerin gelişmesinin de önünü açmaktadır. MMK'lerin farklı matrislerde ve oranlarda birleştirildiğinde mekanik özelliklerde değişim gösterdiği bilinmektedir (Liu C., 2015).

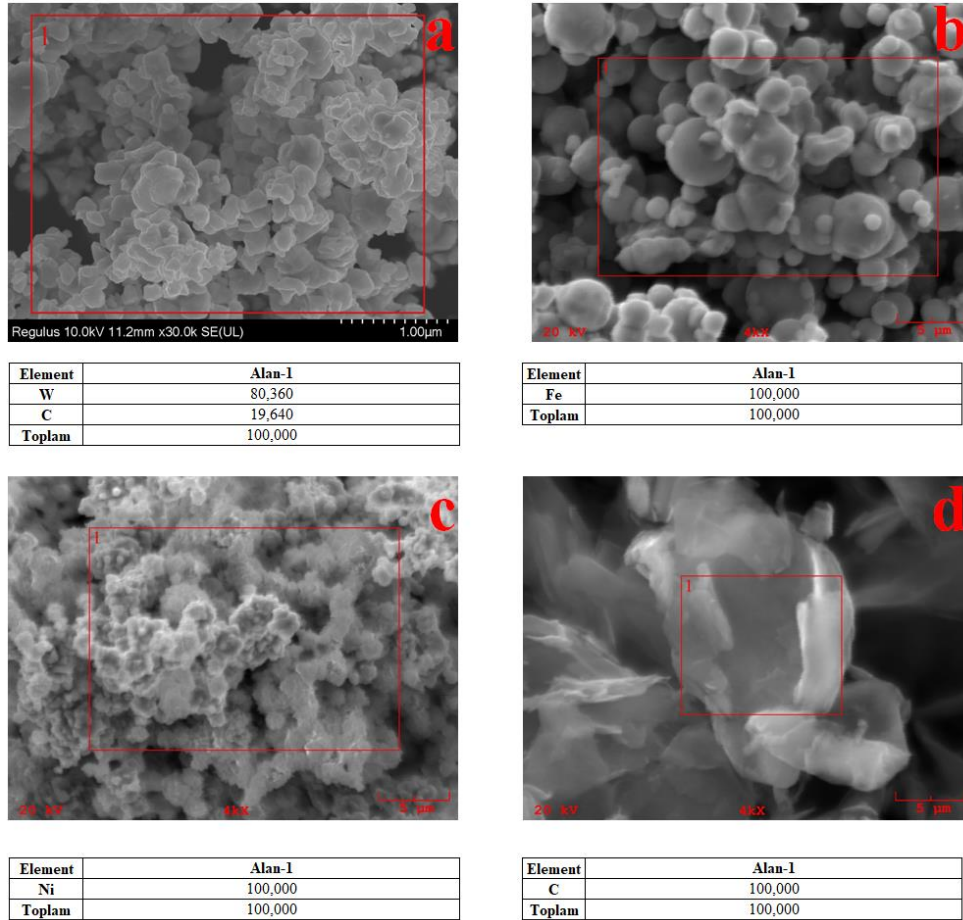
Fe-Ni bileşimleri günümüzde geleneksel Co bağlayıcı fazının yerine kullanılması veya Co oranının azaltılması yönünden birçok araştırmacı tarafından incelenmektedir. Mikroyapı ve mekanik özellikler açısından değerlendirildiğinde, eğer kimyasal bileşim ve proses koşulları iyi belirlenirse, bu alaşım sistemlerinde Co içerikli bağlayıcılara eşdeğer veya hatta üstün özellikler gösterebileceği düşünülmektedir. (Buchegger C. vd., 2015). Ayrıca Fe/Ni kompozisyon oranının, karbon içeriğinin ve termodinamik işlemlerin dikkatli bir şekilde kontrol edilmesiyle, bağlayıcı fazın istenen derecede stabilliği sağlanabilmektedir. Sağlanan stabil faz varlığı sayesinde Fe/Ni bağlayıcıda görülen dönüşüm sertleşmesi ile klasik WC/Co bileşimine göre sertlikte kayıp olmadan çok daha yüksek tokluk elde edileceği öngörülmektedir (Walbrühl M. vd., 2018).

Bu çalışmada WC içerikli MMK malzemelerin toz metalurjisi tekniği ile üretim durumları en iyilenmiştir. Bu amaçla ticari tip WC, Fe, Ni ve C esaslı metal tozları kullanılarak farklı kimyasal bileşim oranlarına sahip numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiş ve en uygun kimyasal bileşim belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada ticari tip WC, Fe, Ni, C tozları kullanılarak MMK malzemeler üretilmiştir. Deneylerde kullanılan tozların elektron mikroskobu fotoğrafları Şekil 1'de görülmektedir. WC, Fe ve Ni tozları küresel formda iken C tozu düzensiz yapıdadır. WC tozlarının ortalama tane boyutu 100 nm seviyesindeyken, Fe-Ni tozlarının ortalama tane boyutu 5 µm, C tozu ise 20 µm seviyesindedir.



Şekil 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan toz malzemelerin SEM-EDS analizleri; a)WC, b)Fe, c)Ni, d)C (SEM-EDS analyzes of the powder used in experimental studies; a) WC, b) Fe, c) Ni, d) C)

Toz metalurjisi ile sinterlenmiş karbür üretiminde sertlik ve aşınma direnci istenen fazın ortalama tane çapının düşük, bağlayıcı fazının ortalama tane çapının yüksek olması sinterleme esnasında kimyasal bağlanmayı olumlu yönde etkilemektedir. Ortalama tane çapı 45 µm'den daha küçük tozlar elek altı olarak kabul görmektedir. Çalışmada WC fazının ortalama tane boyutu 1 µm'den küçük olacak şekilde seçilmiştir. Matris ise -625 Mesh (<20µm) tane çapı olacak şekilde hazır tedarik edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan kontrollü deney grupları, Fe-Ni diyagramları incelenerek seçilmiştir. W-C-%10Ni denge diyagramı M₆C ve Grafit yapılarından oluşmaktadır. M₆C tipi karbürler ve grafit yapısının gevrek olduğu

bilinmektedir. Bu yapıların oluşma sebebi C oranına bağlıdır. WC içerikli sinterlenmiş karbür malzemelerde yapı içerisinde bulunan C oranı bu nedenle kritiktir ve doğru ayarlanması gerekmektedir. Sinterlenmiş karbürlerde, grafit ve M_6C oluşumunun önlenmesi için bileşimin C miktarının dengeli ayarlanması gerekmektedir. Uygun ve yeterli sonuçlar elde etmek için Fe:Ni oranı seçildikten sonra kritik karbon içeriği bölgesi doğru bir şekilde tanımlanmalıdır. Literatürde bu durum karbon penceresi seçimi (The Carbon Window) olarak geçmektedir. Karbon penceresinin alt ve üst değeri matris alaşımında bulunan elementlere ve oranlarına göre değişim göstermektedir. Çalışmada kütlece %10 matris içeren Fe-Ni alaşımı kullanılmıştır. %90WC - %10(Fe-Ni) için uygun karbon penceresi aralığı ve eklenmesi gereken C oranı Guillermet'in çalışmasında elde ettiği sinterlenmiş kütlece %10(Fe+Ni) matrisli WC malzemedeki karbon penceresi eğrileri kullanılarak hesaplanmıştır (Guillermet, A. F., 1987).

Yapılan literatür araştırmasında Ni oranının %20'den fazla olduğu durumlarda WC içerikli kompozit malzemeler martenzitik dönüşüme uygun olduğu görülmektedir. Bu nedenle çalışmada, kütlece %20'ye kadar matris içeren kimyasal bileşim seçilmiştir. Bu nedenle üretilen malzemelerin martenzitik dönüşüm aralığında olması için yapılan deneysel çalışmalarda %20'ye kadar Ni içeren Fe-Ni içerikli numuneler üretilmiştir.

2.2. Yöntem (Proposed Method)

Üretilmesi planlanan numune boyutları $\varnothing 13$ mm çapında ve 4 mm boyunda olarak belirlenmiştir. Belirlenen hacime ve karbon penceresi olgusuna göre toz karışım oranları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kontrol grupları ve toz kütleleri
(Control groups and powder masses values used in experimental studies)

No	%90 WC içeriğine göre Deneysel Grupları (% Kütle)	Teorik Özkütle (gr/cm ³)	Toplam Kütle (gr)	WC Oranı (% Oran, Kütle)		Matris Oranı (% Oran, Kütle)			
				% WC	WC (gr)	Fe (%)	Fe (gr)	Ni (%)	Ni (gr)
1	%10(00Fe10Ni)	14,534	7,716	0,9	6,945	0,000	0,000	0,100	0,772
2	%10(82Fe18Ni)	14,136	7,505	0,9	6,754	0,082	0,615	0,018	0,135
3	%10(87Fe13Ni)	14,112	7,492	0,9	6,743	0,087	0,652	0,013	0,097
4	%10(92Fe08Ni)	14,089	7,480	0,9	6,732	0,092	0,688	0,008	0,060
Kompozisyonların % C Konstrasyonu Ayarlaması									
No	Kontrol Grupları	Kütle (gr)	% Kütlece	% Olması Gereken	% Fark	Eklenmesi Gereken Kütle (gr)			
1	%10(00Fe10Ni)	0,426	5,520	5,451	0,069	-0,005			
2	%10(82Fe18Ni)	0,414	5,516	5,637	0,121	0,009			
3	%10(87Fe13Ni)	0,413	5,518	5,657	0,139	0,010			
4	%10(92Fe08Ni)	0,412	5,521	5,675	0,154	0,012			

Malzeme üretimi öncesi homojenlik sağlanması için tozlar paslanmaz çelik kap içinde V tipi döner hareket yaptırılarak karıştırılmıştır. Toz numuneler 50 dev/dk hızda 6 saat boyunca karıştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda tozlara ham şeklini verebilmek için ön sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Ön sıkıştırmada kullanılmak üzere elle tahrik edilen 12 ton kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır. Sıkıştırma esnasında işlem kolaylığı açısından toz bağlayıcıları ve kalıp yağlayıcıları kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak kütlece %5 oranında %40 polietilen içeren glikol çözeltisi kullanılmıştır. Tüm numuneler 300 MPa basınçta 2 dakika sıkıştırılmıştır. Ön şekli verilen ham malzemeler elastik ve sızdırmaz lateks içerisine yerleştirilmiş ve izostatik olarak preslenmiştir. İzostatik presleme oda sıcaklığında MseTech CIP 1000 marka cihazda yağ içinde 900 Bar basınçta 2 dakika bekletilerek yapılmıştır. Soğuk izostatik presleme işlemi ile yoğunluğu

yükseltelen malzemelerde kimyasal bağ oluşumunu tamamlamak için sinterleme işlemi uygulanmıştır. Sinterleme prosesi iki kademeli olarak Protherm marka seramik tüplü cihazda soy gaz atmosferinde uygulanmıştır. İlk aşamada 1,80°C/dk sıcaklık arttırım oranı ile 550°C sıcaklığa ısıtılıp 1 saat bağlayıcı giderme işlemi uygulanmıştır. Takiben 3,20°C/dk sıcaklık arttırım oranı ile 1520°C'de 1 saat süre sinterlenmiştir. Tüm sinterleme prosesi boyunca 0,8 litre/dakika soy gaz atmosfer debisi kullanılmıştır. Malzemelerin pratik yoğunluğu Arşimet kuralı kullanılarak Scaltec SBC 31 marka hassas tartı ile saf su içinde yapılmıştır. Bu yöntemle numune ilk olarak havada (M_{hava}) sonra da yoğunluğu bilinen sıvı içerisinde ($M_{sıvı}$) hassas bir tartı ile tartılmıştır. Denklem 1 kullanılarak özkütle hesaplanmıştır.

$$D_{Numune} = \left(\frac{M_{hava}}{M_{hava} - M_{sıvı}} \right) \cdot (\rho_{sıvı}) \quad (1)$$

Üretilen numunelerin yüzeyine metalografik işlemler uygulanmıştır. Zımparalama işlemleri kaba ve ince olmak üzere iki kademede 220 ve 600 gridlik manyetik tutuculu zımpara çuhaları ile ıslak şartlarda gerçekleştirilmiştir. Yüzey parlatma işlemi ise 3 µm ortalama tane çapındaki elmas çözelti kullanılarak yapılmıştır. Numunelere %20 derişimde Murakami (10 gram $K_3Fe(CN)_6$ + 10 gram KOH + 100ml Saf Su) ile dağlama işlemi uygulanmıştır. Numunelerin mikroyapıları SEM-EDS analizleri ile incelenmiştir. Analizler, Hitachi Regulus 8230 model taramalı elektron mikroskobu (Force Electron Scanning Electron Microscope, FESEM) cihazında yapılmıştır. Ayrıca EDS (EDS Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) analizleri de SEM muayenesi anında uygulanmıştır. Farklı kimyasal içeriğe sahip numunelerin teorik elastisite modülleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada Hashin ve Shtrikman'ın geliştirdiği model kullanılmıştır (Hashin Z. ve Shtrikma S., 1963). Denklem 2-5, Hashin ve Shtrikman geliştirdiği model için kullanılan denklem sistemini göstermektedir. Bu yöntemde yapıyı oluşturan element ve bileşiklerin Poisson oranları, elastisite, kayma ve hacim modülleri bilindiğinde, oluşan yeni kompozisyonun elastisite modülü hesaplanabilmektedir. Fe-Ni alaşımlarının mekanik özellikleri için Speich G.R. vd. (1972) yılında yapmış oldukları çalışmanın verilerinden, Ni için Ledbetter H.M. ve Reed R.P.'nin (1973) yılında yapmış oldukları çalışmanın verilerinden, WC için ASM Handbook referanslarından (Bauccio M., 1994) yararlanılmıştır. Elastisite modülü ve Poisson oranı bilinen izotropik malzemeler için Denklem 2 kullanılarak kayma modülü (G) ve hacim modülü (K) hesaplanmıştır. Denklem 3, 4 ve 5, Hashin ve Shtrikman'ın geliştirdiği malzeme modelinin mevcut çalışmaya uyarlanmış halini göstermektedir. Denklemde bulunan V indisleri kompozisyon içerisindeki hacimsel oranları, K indisleri hacim (bulk) modüllerini, G indisleri kayma modüllerini göstermektedir.

$$K_{Matris} = \left(\frac{E_{Matris}}{3(1-2\nu_{Matris})} \right), G_{FeNi} = \left(\frac{E_{Matris}}{2(1+2\nu_{Matris})} \right) \quad (2)$$

$$K_{Takviye} = \left(\frac{E_{Takviye}}{3(1-2\nu_{Takviye})} \right), G_{WC} = \left(\frac{E_{Takviye}}{2(1+2\nu_{Takviye})} \right)$$

$$K_{cc} = K_{Matris} + \left(\frac{V_{Takviye}}{\left(\frac{1}{K_{Takviye} - K_{Matris}} \right) + \left(\frac{3V_{Matris}}{(3K_{Matris} + 4G_{Matris})} \right)} \right) \quad (3)$$

$$G_{cc} = G_{Matris} + \left(\frac{V_{Takviye}}{\left(\frac{1}{G_{Takviye} - G_{Matris}} \right) + \left(\frac{6(K_{Matris} + 2G_{Matris})V_{Matris}}{5G_{Matris}(3K_{Matris} + 4G_{Matris})} \right)} \right) \quad (4)$$

$$E = \left(\frac{9(K_{cc})(G_{cc})}{(3K_{cc} + G_{cc})} \right) \quad (5)$$

Genel yapı sertlik değerleri üç iz ölçümünün ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Sertlik ölçümleri, Future Tech FM-800 tipi cihazda yapılmıştır. Sertlik ölçümü 300 gf yükte ve 15 saniye bekleme süresinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kırılma tokluğu testi, FV-800 Future Tech tipi cihazda yapılmıştır. Ölçüm sonrası iz köşelerinde oluşan çatlaklar optik mikroskop ile görüntülenmiş ve skalalı olarak kaydedilmiştir. Üretilen malzemenin gevrek karakterli olduğu için, yük altın deformasyon davranışını daha etkin irdelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle kırılma tokluğu deneylerinde daha yüksek yükler kullanılmıştır. Kırılma tokluğu ölçümü 5 kgf yükte ve 10 saniye bekleme süresinde gerçekleştirilmiştir. Kırılma tokluğu değerleri üç iz ölçümünün ortalaması alınarak Palmqvist yöntemine göre hesaplanmıştır. Palmqvist kırılma tokluğu değerinin hesaplanabilmesi için öncelikle Palmqvist tokluğu (WG) hesaplanması gerekmektedir. Denklem 6, Palmqvist tokluğunu göstermektedir. Denklemde, P sertlik ölçümünde kullanılan N cinsinde yük değeri, T ise sertlik ölçümünün dört köşesinde oluşan çatlakların mm cinsinden toplam boyudur. Denklem genel birimi N/mm'dir.

$$W_G = \frac{P}{T} \quad (6)$$

Sertlik ölçümü ve Palmqvist tokluk değeri hesaplandıktan sonra Palmqvist kırılma tokluğu değeri (WK) Denklem 7 ile hesaplanabilir. Birimi MPa.m^{1/2}'dir. Denklemde A 0,0028 olan bir katsayı, HV mikrosertlik değerinin yer çekimi ivmesi ile çarpılmış hali, WG ise Palmqvist tokluğunu belirtmektedir (Roebuck, 1998).

$$W_K = (A).(HV).(\sqrt{W_g}) \quad (7)$$

Üretilen numunelerde ve kaplamalarda oluşan yapılar X ışınları kırınım tekniği ile tespit edilmiştir. Deneylerde, monokromatize X-ışını kırınım cihazı (Panalytical Empyrean) kullanılmıştır. 1.54060 Å dalga boyuna sahip Cu-K_α radyasyon tekniği kullanılarak 20°-110° arasındaki açılarda 2θ (2 theta) 0,02 adım büyüklüğünde (step size), 0,5 derece/dakika hızında taranarak X-ışını kırınım desenleri oluşturulmuştur. Elde edilen kırınım desenlerinin faz analizleri X'pert HighScore Plus paket programı ile yapılmıştır.

3. Araştırma Bulguları (Experimental Results)

3.1. Üretilen Numunelerin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri (Microstructure and Mechanical Properties of Produced Samples)

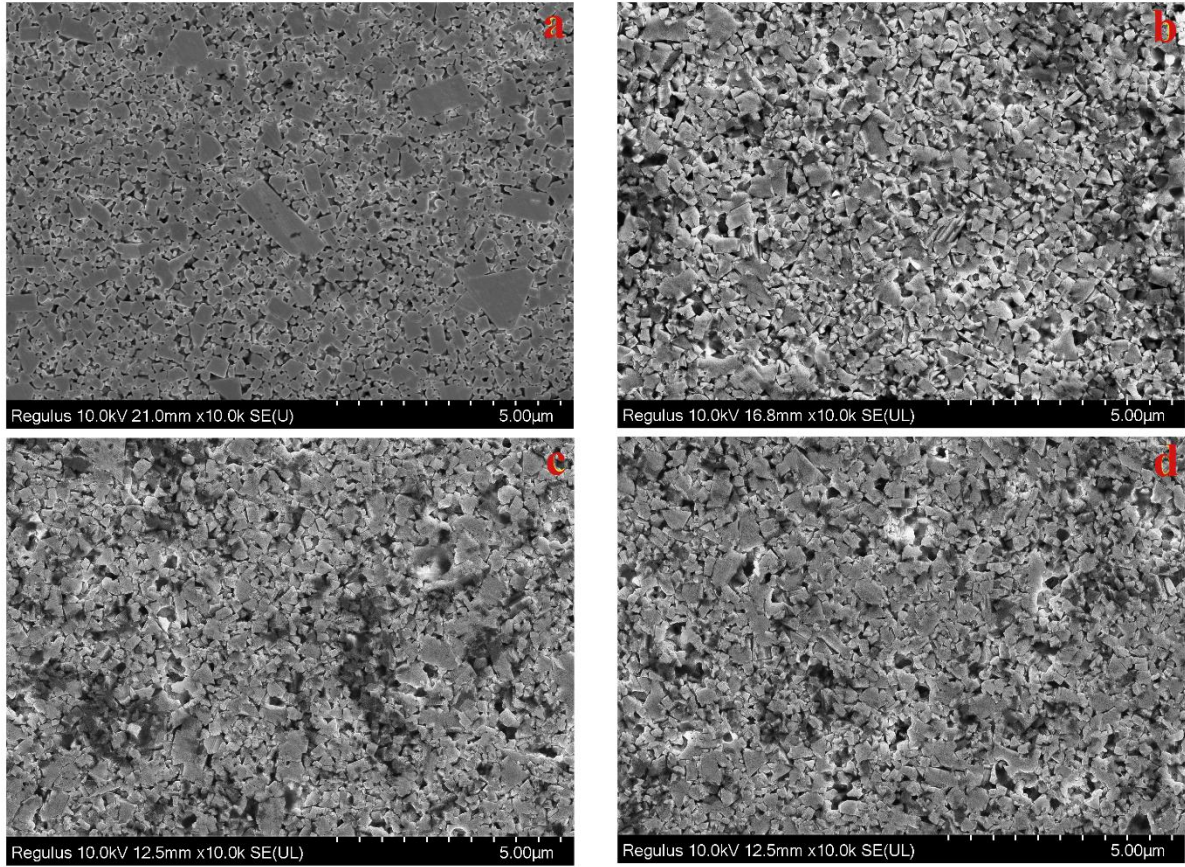
3.1.1. Mikroyapısal Özellikler (Microstructural Properties)

Her kontrol grubu bileşiminden üç adet numune üretilmiştir. Üretilen numunelerin yoğunluk ölçüm sonuçları Tablo 2'de gösterilmektedir. Numunelerin pratik yoğunlukları %85 ve üzerinde elde edilmiştir.

Tablo 2. Üretilen numunelerin pratik yoğunluk değerleri
(Practical density values of the produced samples)

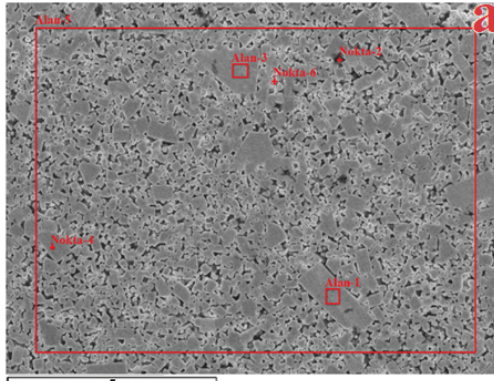
	Deneysel Yoğunluk (gr/cm³)	Teorik Yoğunluk (gr/cm³)	Teorik Yoğunluğa olan yakınlık (%)
%90WC- %10(00Fe10Ni)	13,4236	14,5338	92,3611
	13,9252	14,5338	95,8125
	14,0025	14,5338	96,3444
%90WC- %10(82Fe18Ni)	Deneysel Yoğunluk (gr/cm³)	Teorik Yoğunluk (gr/cm³)	Teorik Yoğunluğa olan yakınlık (%)
	12,3964	14,1360	87,6936
	12,7488	14,1360	90,1866
	12,7258	14,1360	90,0242
%90WC- %10(87Fe13Ni)	Deneysel Yoğunluk (gr/cm³)	Teorik Yoğunluk (gr/cm³)	Teorik Yoğunluğa olan yakınlık (%)
	13,3386	14,1120	94,5198
	12,8549	14,1120	91,0921
	12,6375	14,1120	89,5518
%90WC- %10(92Fe08Ni)	Deneysel Yoğunluk (gr/cm³)	Teorik Yoğunluk (gr/cm³)	Teorik Yoğunluğa olan yakınlık (%)
	13,1029	14,0890	93,0011
	12,7495	14,0890	90,4923
	12,7252	14,0890	90,3199

Şekil 2 üretilen farklı bileşimlerin SEM fotoğrafını göstermektedir. Mikroyapı fotoğrafları detaylı incelendiğinde yapıların iki ana fazdan oluştuğu görülmektedir. Bunlar WC ve farklı oranlarda olan Fe-Ni içerikli fazlardır. Şekilden görüleceği üzere, numunelerde sinterleme işlemi ile karbür ve bağlayıcı fazın homojen dağıldığı görülmektedir. Yapıda görülen beyaz kısımlar WC fazını gösterirken, siyah bölgeler ise Fe-Ni içerikli fazları göstermektedir. WC ve Ni tane arası geçişleri detaylı incelendiğinde lokal birleşmelerin olduğu gözlemlenmiştir (Bkz. Şekil 2-a). Ayrıca Ni içerikli numunede tane büyümeleri gözlemlenmiştir. Şekil 2 bir bütün olarak incelendiğinde yapının daha ince taneli olduğu görülmüştür. Tüm numunelerde sıvı faz sinterleme mekanizmasının etkin olduğu görülmüştür.

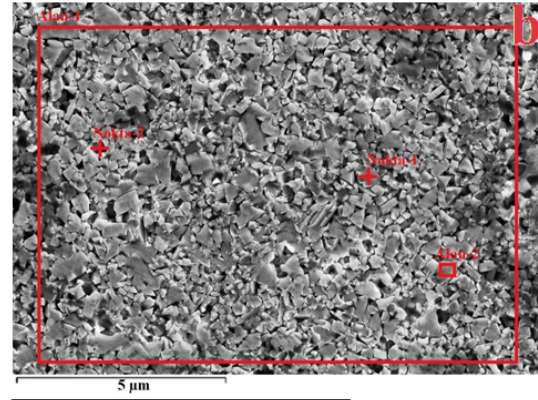


Şekil 2. Üretilen numunelerin SEM mikroyapı fotoğrafları; a) 90%WC-%10(00Fe10Ni), b) %90WC-%10(82Fe18Ni), c) %90WC-%10(87Fe13Ni), d) %90WC-%10(92Fe08Ni)
 (SEM microstructure photographs of the produced samples; a) 90%WC-10%(00Fe10Ni), b) 90%WC-10%(82Fe18Ni), c) 90%WC-10%(87Fe13Ni), d) 90%WC-10%(92Fe08Ni))

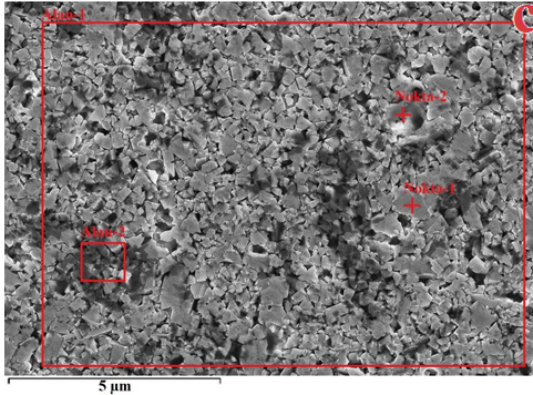
Şekil 3 ve 4 üretilen bileşimlerin EDS analizlerini ve sayısal alan ağırlıklı faz oranları göstermektedir. EDS analizleri yapı içindeki WC ve Fe-Ni birleşimlerini doğrulamaktadır. Ayrıca alan EDS analizleri ile yapı içindeki WC, Fe ve Ni oranlarının teorik oranlara yakın olduğu saptanmıştır. Bu durum yapının homojen olduğunu göstermektedir. Bağlayıcı olarak yalnız Ni içeren numunede Ni elementinin daha çok karbür tane sınırlarında olduğu gözlemlenirken, Fe-Ni katkılı numunelerde karbür tanelerinin iç kısımlarında bağlayıcı faza rastlanmıştır.



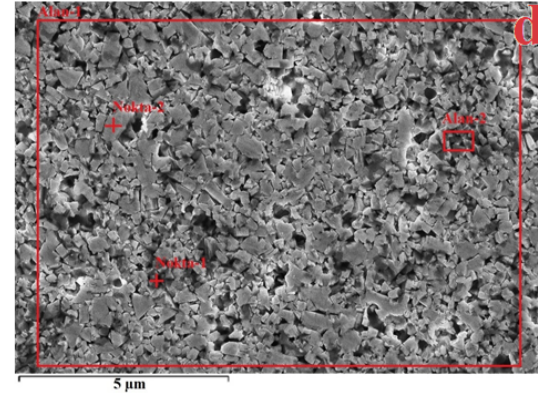
Element	Alan-1	Nokta-2	Alan-3	Nokta-4	Alan-5	Nokta-6
C	6,260	10,360	4,850	8,960	5,040	6,800
Ni	35,380	43,620	25,290	0,000	9,820	0,000
W	58,370	46,030	69,860	91,040	85,140	93,200
Toplam	100,000					



Element	Alan-1	Nokta-1	Nokta-2	Alan-2
C	7,830	31,390	40,010	12,080
Fe	8,320	0,000	6,840	0,000
Ni	1,160	0,000	0,990	0,000
W	82,690	68,610	52,160	87,920
Toplam	100,000	100,000	100,000	100,000

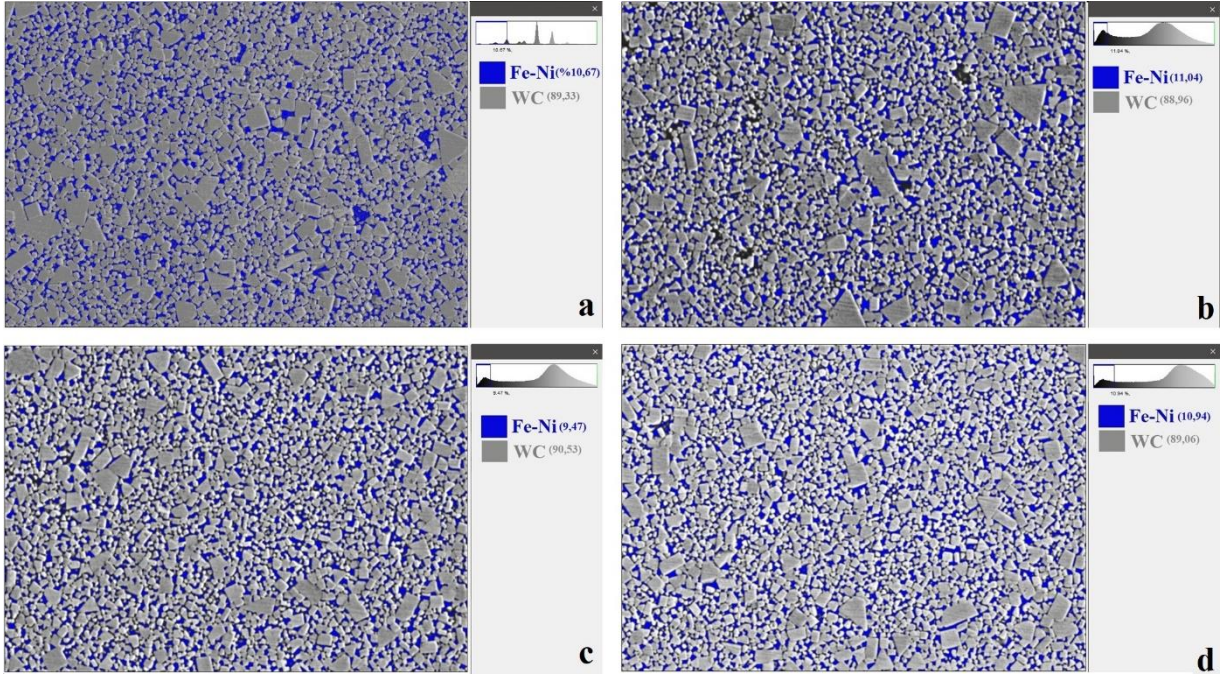


Element	Alan-1	Alan-2	Nokta-1	Nokta-2
C	9,460	5,750	14,560	32,990
Fe	8,130	29,040	0,000	2,160
Ni	1,060	18,390	0,000	2,170
W	81,350	46,820	85,440	62,680
Toplam	100,000	100,000	100,000	100,000



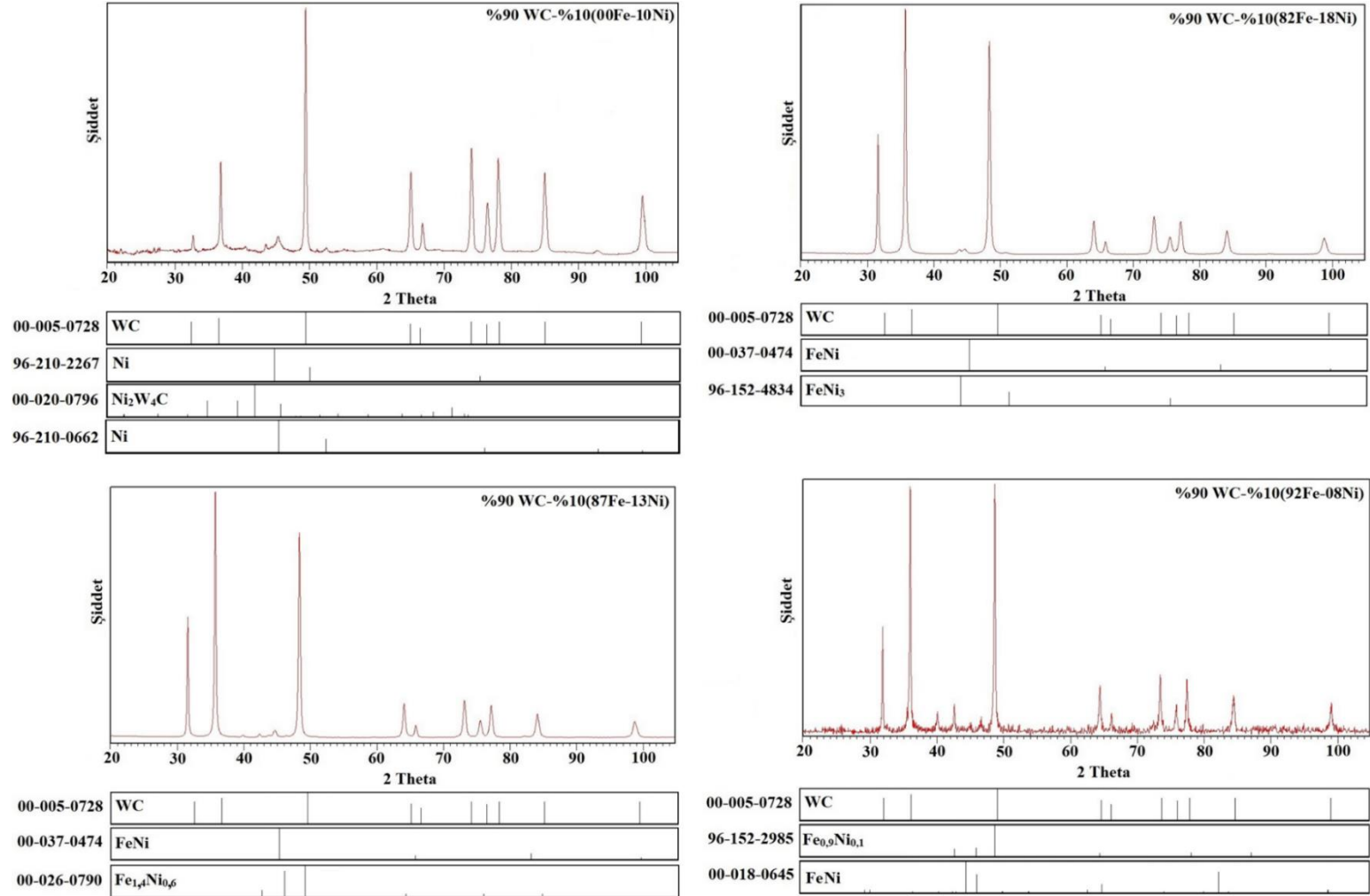
Element	Alan-1	Alan-2	Nokta-1	Nokta-2
C	10,960	7,750	33,540	13,180
Fe	9,110	27,100	3,870	0,000
Ni	0,700	2,430	0,470	0,000
W	79,230	62,720	62,120	86,820
Toplam	100,000	100,000	100,000	100,000

Şekil 3. Üretilen numunelerin EDS analiz fotoğrafları; a) 90%WC-%10(00Fe10Ni), b) %90WC-%10(82Fe18Ni), c) %90WC-%10(87Fe13Ni), d) %90WC-%10(92Fe08Ni)
(EDS analysis photos of the produced samples; a) 90%WC-10%(00Fe10Ni), b) 90%WC-10%(82Fe18Ni), c) 90%WC-10%(87Fe13Ni), d) 90%WC-10%(92Fe08Ni))



Şekil 4. Üretilen numunelerin sayısal alan ağırlıklı faz oranları; a) 90%WC-%10(00Fe10Ni), b) %90WC-%10(82Fe18Ni), c) %90WC-%10(87Fe13Ni), d) %90WC-%10(92Fe08Ni)
 (Numerical area weighted phase ratios of the produced samples; a) 90%WC-10%(00Fe10Ni), b) 90%WC-10%(82Fe18Ni), c) 90%WC-10%(87Fe13Ni), d) 90%WC-10%(92Fe08Ni))

Üretilen numunelerin X-ışını kırınım desenleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Kırınım deseni incelendiğinde, yapının WC, Fe ve Ni'e ait piklerlerden oluştuğu görülmektedir. Piklerin büyük bir kısmı ve en yüksek pik şiddetlerinin WC fazına ait olduğu görülmüştür. Fe-Ni içerikli bileşiklerin oluştuğu görülmüştür. Artan Fe oranı ile Fe-Ni içerikli piklerin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca yalın Ni içerikli numunenin X-ışını kırınım deseni incelendiğinde yapıda η tipi Ni_2W_4C karbürleri olduğu görülmüştür. Bu tip karbürlerin C içeriği nedeniyle oluştuğu ve düşük tokluğa sebep olduğu bilinmektedir (Gonzalez R. vd., 1995; Ojo-Kupoluyi R. vd., 2016).



Şekil 5. Numunelerin X-ışını kırınım desenleri
(X-ray diffraction patterns of samples)

3.1.2. Mekanik Özellikler (Mechanical Properties)

Tablo 3, üretilen numunelerin sertlik ve hesaplanan elastisite modülü değerlerini göstermektedir. Yalın Ni içeren numunenin ortalama sertlik değeri yaklaşık 1284 HV_{300gf} olarak ölçülmüştür. Fe-Ni katkılı numunelerin ortalama sertlik değerleri 1517 HV_{300gf}, 1582 HV_{300gf} ve 1620 HV_{300gf} olarak ölçülmüştür. Yapıya katılan Fe, Ni ile bileşimlerinde dönüşüm sertleşmesi ve tane incilmesi yapmaktadır. Artan Fe oranıyla dönüşümün gerçekleştiği ve tane yapısı incelendiği için genel yapı sertliği artmıştır. Bu durum Fe elementinin allotropik özelliği nedeniyle dönüşüm toklaşması altında oluşmaktadır. Artan Fe oranı dönüşüm toklaşma mekanizmasını etkinleştirmiş ve üretilen malzemede sertlik özelliğinde artışlar kaydedilmesine neden olmuştur.

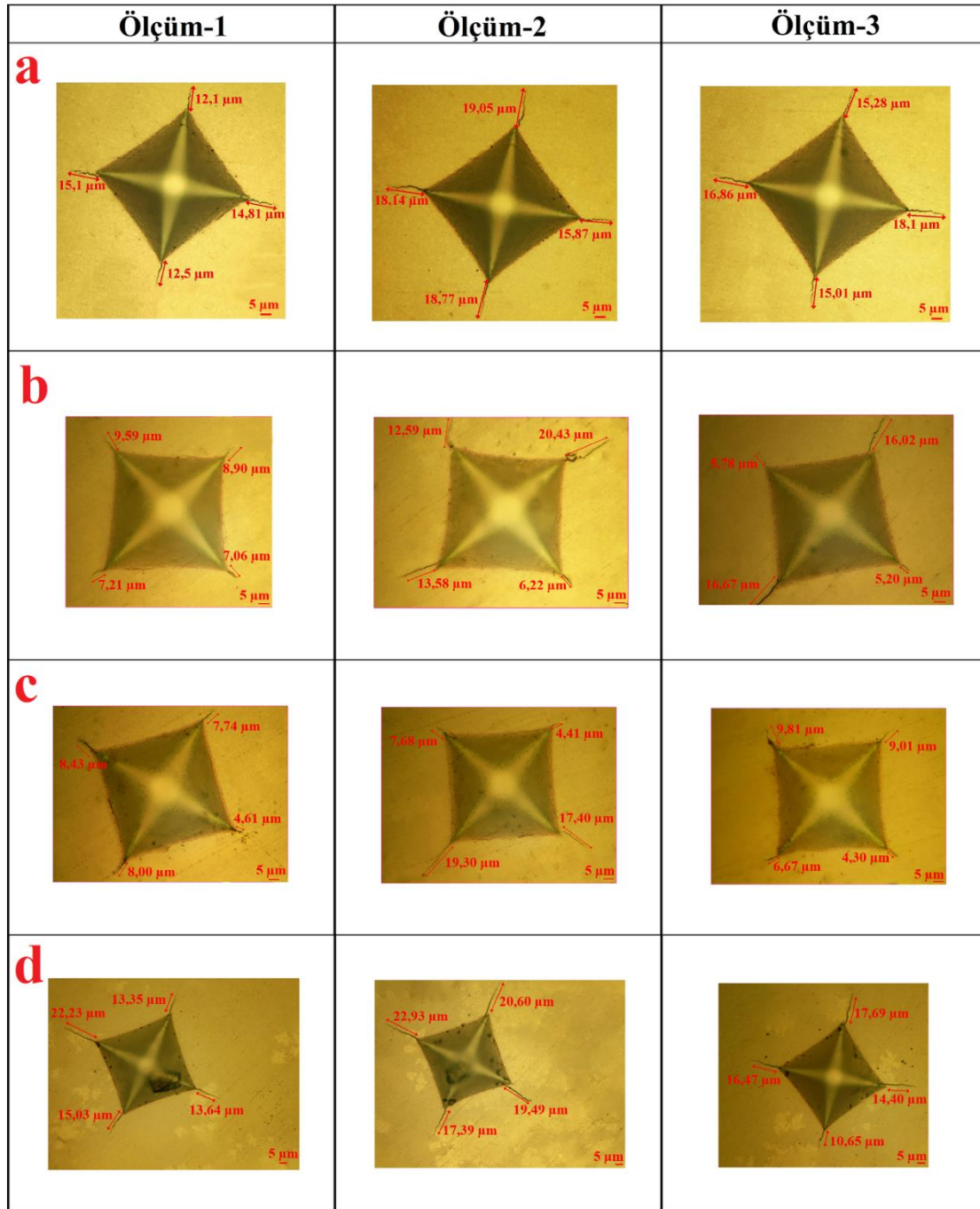
Ayrıca bileşimlerin teorik elastisite modülleri hesaplanmıştır. Yalın Ni içeren numunede elastisite modülü 495 GPa olarak hesaplanmışken, Fe katkılı numunelerde 510 GPa ile 530 GPa arası değiştiği görülmüştür. Yapıya eklenen Fe katkısının dönüşüm sertleşmesi mekanizması ile kompozit malzemeyi rijitleştirdiği tespit edilmiştir. Kontrol grupları kendi içinde değerlendirildiğinde, artan Fe oranıyla elastisite modülü değerin arttığı tespit edilmiştir. Belirli oranlarda gerçekleştirilen Fe-Ni bileşimlerinde dönüşüm toklaşması mekanizmasının etkin olduğu bilinmektedir. Gözlemlenen artışın artan Fe oranı ve dönüşüm toklaşması nedeni olduğu düşünülmektedir. Elde edilen Fe-Ni bağlayıcı yeni malzemeler kütlece %10 Co içeren WC içerikli kompozitler ile eşdeğer sertlik ve elastisite modülüne sahip olduğu tespit edilmiştir (Almond E.A. ve Roebuck R., 1988; Liu X. vd., 2018; Xie Y.F. vd., 2019).

Tablo 3. Üretilen numunelerin ortalama sertlik ve hesaplanan elastisite modülü değerleri
(Average hardness and calculated modulus of elasticity values of the produced samples)

%90WC- %10(00Fe10Ni)	Sertlik değerleri (HV _{300gf})				Hesaplanan Elastisite Modülü (GPa)
	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	Ortalama (~)	
	1226,200	1308,400	1315,500	1284	495
%90WC- %10(82Fe18Ni)	Sertlik değerleri (HV _{300gf})				Hesaplanan Elastisite Modülü (GPa)
	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	Ortalama (~)	
	1512,400	1474,900	1563,500	1517	511
%90WC- %10(87Fe13Ni)	Sertlik değerleri (HV _{300gf})				Hesaplanan Elastisite Modülü (GPa)
	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	Ortalama (~)	
	1595,700	1568,800	1581,100	1582	521
%90WC- %10(92Fe08Ni)	Sertlik değerleri (HV _{300gf})				Hesaplanan Elastisite Modülü (GPa)
	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	Ortalama (~)	
	1620,200	1659,400	1579,100	1620	528

Şekil 6 ve Tablo 4 üretilen bileşimlerin sırasıyla oluşan kırılma çatlakları mikrofotografını ve tokluk ölçümlerini göstermektedir. Ölçümlerde alınan değerler 8 MPa.m^{1/2} ile 14 MPa.m^{1/2} değerleri arasında değişmektedir. Yapılan çalışma ile, %10-15 Co içerikli WC içerikli kompozitler ile benzer tokluk kazandırıldığı görülmektedir (Chang S. ve Chen S.L., 2014; Kakeshita T. ve Wayman C.M., 1991; Ravichandran K.S., 1994).

Yapılan ölçümler sonucu ortalama tokluk değeri en düşük olan malzeme grubunun yalın Ni içeren grup olduğu saptanmıştır (8,791 MPa.m^{1/2}). Fe katkılı tüm grupların tokluğunun referans Ni grubuna göre yüksek tokluğa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Numunelerde Fe oranının %90'ın üzerine çıkmasının yapıyı olumsuz etkilediği görülmektedir. Artan Fe oranıyla dönüşüm sertleşme mekanizmasının azaldığı ve yapının böylece ani yük taşıma kabiliyetini kaybettiğini göstermektedir. Literatürde %10 Co içerikli WC içerikli kompozitlerin kırılma tokluk değerleri yaklaşık 10-12 MPa.m^{1/2} arasında değiştiği bilinmektedir (Pittari J. vd., 2018). Elde edilen alternatif bağlayıcı sinterlenmiş karbürlerin gerekli tokluğu sağladığını göstermektedir.



Şekil 6. Üretilen numunelerin kırılma tokluğu ölçüm mikrofotografaları; a) 90%WC-%10(00Fe10Ni), b) 90%WC-%10(82Fe18Ni), c) 90%WC-%10(87Fe13Ni), d) 90%WC-%10(92Fe08Ni)
 (Fracture toughness measurement microphotographs of the produced samples; a) 90%WC-10%(00Fe10Ni), b) 90%WC-10%(82Fe18Ni), c) 90%WC-10%(87Fe13Ni), d) 90%WC-10%(92Fe08Ni))

Üretilen Fe-Ni matrisli WC içerikli sinterlenmiş malzemelerde artan Fe oranıyla beraber elde edilen çatlak uzunluklarının azaldığı görülmektedir. Bu durum %90WC-%10(87Fe13Ni) numunesine kadar korelatif olarak gözlemlenmiştir. En yüksek Fe oranına sahip olan %90WC-%10 (92Fe08Ni) numunesinde ise uygulanan yük sonrası toplam çatlak boyunun arttığı görülmektedir. Bu bileşimde efektif dönüşüm toklaşmasının gerçekleştiği kimyasal kompozisyonun uzaklaştığı için yarı kararlı ve ostenitik olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda minimum çatlak uzunluğunda maksimum değer gözlemlenmiştir.

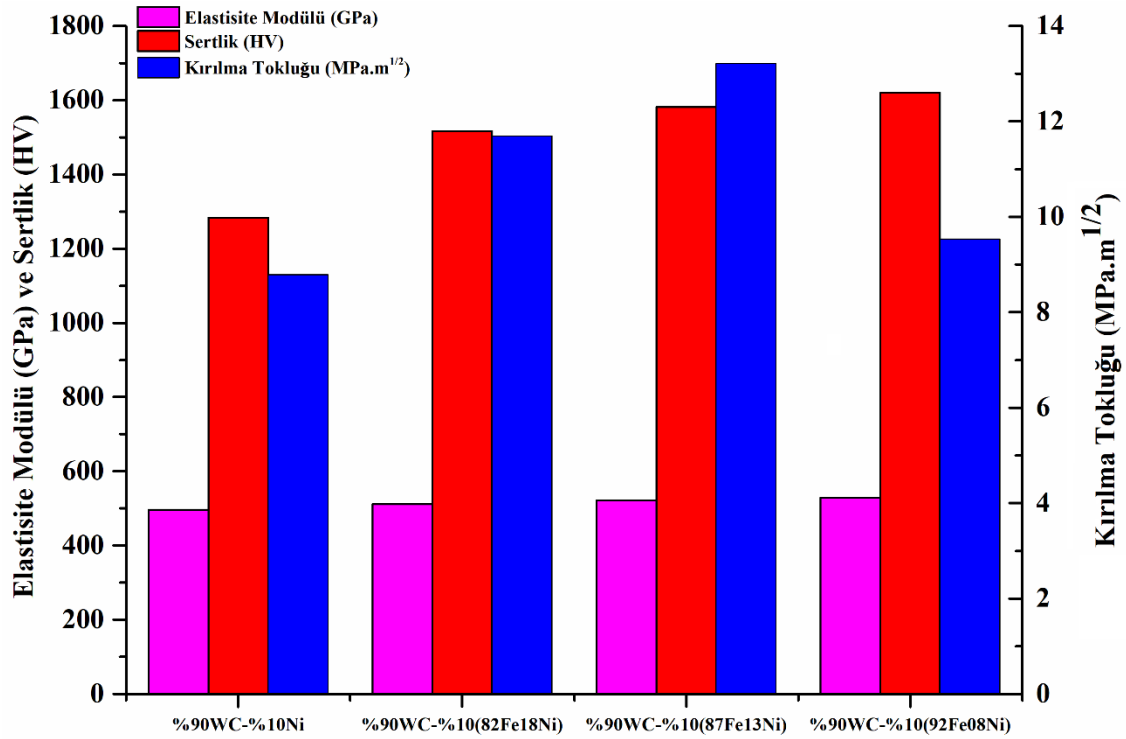
Tablo 4. Üretilen numunelerin kırılma tokluğu değerleri
(Fracture toughness values of the produced samples)

Kontrol Grupları	Kırılma Tokluk Değeri		Yük	Çatlak Boyları ve Toplamları				
	W_k (Ortalama)	W_k (MPa.m ^{1/2})		T (mm)	c ₁ (μm)	c ₂ (μm)	c ₃ (μm)	c ₄ (μm)
%90WC- %10(00Fe10Ni)	8,791	9,980	49,050	0,055	15,10	14,81	12,50	12,10
		8,429		0,072	18,14	15,87	18,77	19,05
		8,715		0,065	16,86	18,10	15,01	15,28
%90WC- %10(82Fe18Ni)	11,694	13,197	49,050	0,033	9,59	8,90	7,21	7,06
		10,263		0,053	12,59	20,43	6,22	13,58
		11,622		0,044	5,78	16,02	5,20	16,67
%90WC- %10(87Fe13Ni)	13,208	14,462	49,050	0,029	8,43	7,74	4,61	8,00
		11,014		0,049	7,68	4,41	17,40	19,30
		14,150		0,030	9,81	9,01	4,30	6,67
%90WC- %10(92Fe08Ni)	9,535	9,753	49,050	0,064	22,23	13,35	15,03	13,64
		8,823		0,080	22,93	20,60	19,49	17,39
		10,030		0,059	16,47	17,69	14,40	10,65

Çalışmada mekanik özellikler dikkate alınarak en iyi kimyasal bileşim oranı belirlenmiştir. Şekil 7 numunelerin karşılaştırmalı genel mekanik özelliklerini göstermektedir. Referans grup olan yalın Ni içeren gruba göre tüm grupların elastisite modülünün daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, tüm Fe katkılı kontrol gruplarının referans gruba göre daha rijit olduğunu göstermektedir. Genel yapı sertliği ise artan Fe oranı ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

Kırılma tokluğunda ise en düşük değerler yalın Ni grup için elde edilmiştir. Yalın Ni grubunun X-ışını kırınım analizi incelendiğinde (Bkz. Şekil 5) yapıda M₆C karbürlerinin olduğu görülmektedir. Bu tip karbürlerin düşük tokluğa sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle yalın Ni içeren numune grubunun tokluk değerinin düşük çıktığı düşünülmektedir. Fe oranının %90 üstüne çıktığında ise tokluk değerinde düşme saptanmıştır. WC-Fe-Ni bileşimlerinde dönüşüm toklaşması (transformation toughening) belirli bir aralıkta gerçekleşmektedir. %90WC-%10(92Fe08Ni) grubunun bu dönüşüm aralığının üst limitine yakın olduğu görülmektedir. Kırılma tokluğunda gözlemlenen bu düşme, dönüşüm toklaşma mekanizmasının yeterince etkin olmamasından kaynaklanmaktadır.

Üretilen bileşimlerin genel mekanik özellikleri incelendiğinde (Bkz. Şekil 7), ölçümlerde alınan değerler 8 MPa.m^{1/2} ile 14 MPa.m^{1/2} değerleri arasında değişmektedir. Yapılan çalışma ile, %10-15 Co içerikli WC içerikli kompozitler ile benzer tokluk kazandırıldığı görülmektedir (Chang S. ve Chen S.L., 2014; Kakeshita T. ve Wayman C.M., 1991; Ravichandran K.S., 1994). Tüm Fe katkılı numunelerin sertlik ve elastisite modülü açısından yeterli rijitliği sağladığı görülmektedir. Fe katkılı gruplar benzer elastisite modülü ve sertlik davranışı gösterdiği için ampirik kırılma tokluğu değeri ayırteci olmuştur. En yüksek kırılma tokluğu değerine sahip olan %90WC-%10(87Fe13Ni) grubu en uygun kimyasal bileşim olarak seçilmiştir.



Şekil 7. Farklı kimyasal bileşimlerin genel mekanik özellik sonuçları
(General mechanical property results of different chemical compositions)

Yapılan ölçümler sonucu ortalama tokluk değeri en düşük olan malzeme grubunun yalın Ni içeren grup olduğu saptanmıştır (8,791 MPa.m^{1/2}). Fe katkılı tüm grupların tokluğunun referans Ni grubuna göre yüksek tokluğa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Numunelerde bağlayıcı faz içinde Fe oranının %90'ın üzerine çıkmasının yapıyı olumsuz etkilediği görülmektedir. Artan Fe oranıyla dönüşüm sertleşme mekanizmasının azaldığı ve yapının böylece ani yük taşıma kabiliyetini kaybettiği tespit edilmiştir. Literatürde %10 Co içerikli WC içerikli kompozitlerin kırılma tokluk değerleri yaklaşık 10-12 MPa.m^{1/2} arasında değiştiği bilinmektedir (Pittari J. vd., 2018). Tablo 5, üretilen farklı malzemelerin kırılma tokluk değerlerinin yapılan çalışma ile kıyaslamasını göstermektedir. Çizelge incelendiğinde çalışma kapsamında elde edilen alternatif bağlayıcı sinterlenmiş karbürlerin gerekli tokluğu sağladığı görülmektedir.

Tablo 5. Elde edilen kırılma tokluğu verilerinin literatür ile kıyaslanması
(Comparison of the measured fracture toughness data with the literature)

Kontrol Grupları	Kırılma Tokluk Değeri (MPa. m ^{1/2})
Seçilen optimum grup (%90WC-%10(87Fe13Ni))	14,462
Pittari J. vd., 2018	10,6
Chang S. ve Chen S.L., 2014	12,3-15,1
Kakeshita T. ve Wayman C.M., 1991	10,0
Ravichadran K.S., 1994	9,3-13,1

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada WC, Fe, Ni ve C tozları kullanılarak düşük toksisiteye sahip metal matrisli kompozit malzemeler toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. Farklı kimyasal içerikte üretilen numunelerden mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenerek deneysel olarak en uygun kimyasal bileşim belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları aşağıdaki özetlenmiştir:

Toz metalurjisi tekniği ile üretilen tüm numunelerde pratik yoğunluk % 85 üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum malzeme üretim aşamasında seçilen toz karıştırma, ön presleme, izostatik presleme ve sinterleme gibi işlem parametrelerinin uygun olduğunu göstermektedir. Tüm numunelerde sıvı faz sinterleme mekanizması etkin

olarak görülmüştür. Yapıların homojen dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.

Mikroyapı incelemelerinde yalın Ni içerikli numunelerin tane yapısının Fe içerikli numunelere göre daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Mikroyapı içerisine katılan Fe miktarının artışı ile daha ince taneler olduğu görülmüştür.

X- ışını kırınımı analizlerinde, %90WC-%10(00Fe10Ni) içeren numunelerde M_6C tipi (Ni_2W_4C) gevrek davranış gösteren η karbürler tespit edilmiştir. Fe katkılı numunelerde ise farklı Fe-Ni bileşimleri olduğu görülmüştür. Yalın Ni bağlayıcı içeren grubun kırılma tokluğu ve sertlik değerlerindeki azalmanın bu nedenle olduğu düşünülmektedir.

Üretilen numunelerde bağlayıcı fazda Fe oranının azalmasıyla genel yapı sertliğinin düştüğü görülmüştür. En yüksek sertlik değerleri %90WC-%10(92Fe08Ni) içeren numunede görülürken ($1620 HV_{300gf}$) en düşük sertlik değerleri %90WC-%10(Ni) bağlayıcı içeren numunelerde ($1284 HV_{300gf}$) tespit edilmiştir. Kırılma tokluğu ölçümlerinde en düşük değer %90WC-%10(00Fe10Ni) grubunda belirlenmiştir ($8,791 MPa.m^{1/2}$). En yüksek kırılma tokluğu değerlerine %90WC-%10(87Fe13Ni) kimyasal bileşime sahip grupta ($13,208 MPa.m^{1/2}$) ulaşılmıştır. Bağlayıcı içindeki Fe oranının artmasının belirli bir değerden sonra malzemenin kırılma tokluğu değerlerini azalttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun Fe-Ni arasında oluşan dönüşüm sertleşmesi mekanizmasının sekteye uğraması nedeniyle gerçekleştiği düşünülmektedir.

Numuneler içinde en yüksek teorik elastisite modülü değeri %90WC-%10(92Fe08Ni) grubunda ($528 GPa$) hesaplanmıştır. En düşük elastisite modülü değeri yalın Ni içeren grupta elde edilmiştir ($495 GPa$). Fe içerikli numunelerde elastisite modülü değeri $510 GPa$ ile $530 GPa$ arasında olduğu gözlemlenmiştir. Yalın Ni içerikli numuneye göre Fe katkılı numunelerde elastisite modülü yaklaşık %10 artmıştır.

Fe katkılı gruplar benzer elastisite modülü ve sertlik davranışı gösterdiği için ampirik kırılma tokluğu değeri ayırt edici olmuştur. En yüksek kırılma tokluğu değerine sahip olan %90WC-%10(87Fe13Ni) grubu en uygun kimyasal bileşim olarak seçilmiştir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 201915036 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Almond, E. A., Roebuck, B., 1988, Identification of optimum binder phase compositions for improved WC hard metals, *Materials Science and Engineering: A, Part 1*, 237-248
- Baucchio, M., 1994, *ASM Engineered Materials Reference Book*, ASM International
- Buchegger, C., Lengauer, W., Bernardi, J., Gruber, J., Ntaflou, T. vd., 2015, Diffusion parameters of grain-growth inhibitors in WC based hardmetals with Co, Fe/Ni and Fe/Co/Ni binder alloys, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 67-74
- Chang, S.-H., Chen, S.-L., 2014, Characterization and properties of sintered WC-Co and WC-Ni-Fe hard metal alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 407-413
- Davis, J. R., 2001, *Alloying: Understanding the Basics*, ASM International
- Fischer, T., Rystedt, I., 1983, Cobalt allergy in hard metal workers, *Contact Dermatitis*, 2, 115-121
- Gonzalez, R., Echeberria, J., Sanchez, J. M., Castro, F., 1995, WC-(Fe,Ni,C) hardmetals with improved toughness through isothermal heat treatments, *Journal of Materials Science*, 13, 3435-3439
- Guillermet, A. F., 1987, Assessment Of The Fe-Ni-W-C Phase Diagram, *Zeitschrift fuer Metallkunde/Materials Research and Advanced Techniques*, 3, 165-171
- Hashin, Z., Shtrikman, S., 1963, A variational approach to the theory of the elastic behaviour of multiphase materials, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 2, 127-140
- Ibrahim, I. A., Mohamed, F. A., Lavernia, E. J., 1991, Particulate reinforced metal matrix composites in a review, *Journal of Materials Science*, 5, 1137-1156
- Kakeshita, T., Wayman, C. M., 1991, Martensitic transformations in cermets with a metastable austenitic binder I: WC (Fe Ni C), *Materials Science and Engineering: A*, 2, 209-219
- Ledbetter, H. M., Reed, R. P., 1973, Elastic Properties of Metals and Alloys, I. Iron, Nickel, and Iron-Nickel Alloys, *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 3, 531-618

- Liu, C., 2015, Alternative Binder Phases For Wc Cemented Carbides, Master of Science Dissertation, KTH Royal Institute of Technology
- Liu, X.-m., Wang, H.-b., Song, X.-y., Moscatelli, R., 2018, Elastic modulus of nanocrystalline cemented carbide, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 5, 966-973
- Liu, Y. B., Lim, S. C., Lu, L., Lai, M. O., 1994, Recent development in the fabrication of metal matrix-particulate composites using powder metallurgy techniques, Journal of Materials Science, 8, 1999-2007
- Ojo-Kupoluyi, O. J., Tahir, S. M., Baharudin, B. T. H. T., Azmah Hanim, M. A., Anuar, M. S., 2016, Mechanical properties of WC-based hardmetals bonded with iron alloys – a review, Materials Science and Technology, 5, 507-517
- Patricia, A. P., Thomas, S. J., 1999, Metal Prices in the United States Through 1998, United States Government Printing Office
- Penrice, T. W., 1987, Alternative binders for hard metals, Journal of Materials Shaping Technology, 1, 35-39
- Pittari, J. J., Murdoch, H. A., Kilczewski, S. M., Hornbuckle, B. C., Swab, J. J. vd., 2018, Sintering of tungsten carbide cermets with an iron-based ternary alloy binder: Processing and thermodynamic considerations, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 1-11
- Ravichandran, K. S., 1994, Fracture toughness of two phase WC-Co cermets, Acta Metallurgica et Materialia, 1, 143-150
- Roebuck, B., 1998, Palmqvist toughness for hard and brittle materials, National Physical Laboratory
- Siemiaszko, D., Rosinski, M., Michalski, A., 2010, Nanocrystalline WC with non-toxic Fe-Mn binder, physica status solidi (c), 5, 1376-1379
- Speich, G. R., Schwoeble, A. J., Leslie, W. C., 1972, Elastic constants of binary iron-base alloys, Metallurgical Transactions, 8, 2031-2037
- Walbrühl, M., Linder, D., Ågren, J., Borgenstam, A., 2018, Alternative Ni-based cemented carbide binder – Hardness characterization by nano-indentation and focused ion beam, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 204-209
- Xie, Y.-F., Xie, X.-C., Li, Z.-W., Cao, R.-J., Lin, Z.-K. vd., 2019, Microstructure and properties of coarse-grained WC–10Co cemented carbides with different carbon contents during heat treatments, Rare Metals,



ARTAN YÜK ALTINDAKİ ELASTOPLASTİK TAŞIYICI ÇELİK ÇERÇEVELERDE ANKASTRELİK MOMENTLERİNİN İNCELENMESİ

Harika Fatma AÇIKSARI*, Hatip TOK

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Elasto-Plastik,
Kesit Plastikleşme Oranı,
Nonlineer Analiz,
Ankastrelilik Moment.*

Öz

Bu çalışmada elastoplastik malzemeli taşıyıcı sistemlerdeki ankastrelilik momentlerinin değişimi, elastik ötesi davranış için incelenmiştir. Buna bağlı olarak bir elemanın mafsallaşma esnasındaki ankastrelilik momentleri hesaplanmıştır. Yük artımı esnasında taşıyıcı sistemi oluşturan eleman kesitlerinde elastik ötesi davranışlar meydana gelmektedir. Bu durum sistem analizi esnasında dikkate alınmalıdır. Bu hali hesaplayan, doktora çalışması olan SOMEP ve SOEP analiz programı kullanılmıştır. Bu çalışmada, kesitlerin elastik ötesi davranışlarını dikkate alan kesit plastikleşme oranı elde edilerek, ankastrelilik momentlerini hesaplayan bir analiz yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem SOMEP analiz programına eklenmiştir. Kesit plastikleşme oranı elastik ötesi davranış olan kesitin plastikleşme oranını veren bir kavramdır. Çubuk uçlarındaki kesit plastikleşme oranını hesaplayan bağıntılar ortaya konularak analizler geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafik ve tablolar halinde sunulmuştur. Kullanılan malzeme ideal elasto-plastik malzeme olarak kabul edilmiştir. Çalışmada düzlem çerçevelerin ikinci mertebe elasto-plastik hesabı ile doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan analizler incelenirken, çubuk uçlarında oluşan kesit plastikleşmesi plastik mafsal olarak kabul edilmiştir.

INVESTIGATION OF FIXED END MOMENTS UNDER INCREASED LOAD IN STRUCTURAL ELASTOPLASTICS TEEL FRAMES

Keywords

*Elasto-Plastic,
Section Plasticization Ratio,
Nonlinear Analysis,
Fix End Moment.*

Abstract

In this study, the change of the fix end moments in the structural systems with elastoplastic material was investigated for beyond elastic behavior. Accordingly, the fix end moments of an element during the hinging have been calculated. During the load increase, beyond elastic behavior occur in the sections of the elements forming the structural system. This should be taken into account in the Structural Analysis of the system. SOMEP and SOEP analysis program, which is a doctoral study, was used to compute this state. In this study, an analysis method was developed to compute the fix end moments by obtaining section plasticization ratio which takes into account the beyond elastic states of the sections. This method was added to the SOMEP analysis program. Section plasticization ratio is a concept that gives the plasticization rate of the section which is the beyond elastic condition. In the analysis, the relations of indicating the change of fix end moments were revealed. The results obtained were presented in graph and charts. The material used was considered as the ideal elastoplastic material. In the study, nonlinear structural analysis of plane frames was performed by second order elasto-plastic analysis. In the examination of nonlinear analysis, in terms of materials and geometry, it was assumed that the plastic sections are accepted as a plastic hinge.

*İlgili yazar / Corresponding author: harikafatma@gmail.com, +90-344-300-1665

Alıntı / Cite

Açıksarı, H.F., Tok, H., (2023). Elastoplastik Malzemeye Taşıyıcı Sistemlerde Artan Yük Altında Ankastrilik Momentlerinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 394-410.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. F.Açıksarı, 0000-0003-1328-7074
H. Tok, 0000-0003-0513-0798

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	04.01.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	04.08.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	26.09.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

INVESTIGATION OF FIXED END MOMENTS UNDER INCREASED LOAD IN STRUCTURAL ELASTOPLASTIC STEEL FRAMES

Harika Fatma AÇIKSARI[†], Hatip TOK

Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Kahramanmaraş, Turkey

Purpose and Scope

The aim of this study is to examine the change of the fixed end moments of the elastoplastic material structural systems for beyond behavior with the developed analysis method in structural analysis. Accordingly, the fix end moments of an element during the hinging have been calculated.

Design/methodology/approach

When the literature is examined, it is seen that there are many studies using the load increment calculation method to find the limit load with second order effects and to determine the collapse load. Within the scope of there search, there are studies on the need to choose a suitable material model for the structural system, taking into account the behavior models of the materials. One of these studies is the study of Uslu, F. (2016). In this study, an additional freedom of rotation is created in two-dimensional frames made of ideal elastic and full plastic material, with plastic hinges that are assumed to occur at the ends of the elements by increasing the loads step by step. Thus, by performing consecutive elastic analyses between two plastic hinges, the elastic-plastic analysis of the frames is performed. Similar to that of Tok, H.(2000) and Açıksarı, H.(2019) in some studies in the literature, changes in normal force and bending moment in sections were investigated during the analysis of the load increment calculation method of steel frames. As a result of the analysis, it was concluded that there was a change in the fix end moments by looking at the plasticization rate in the section.

Findings

In this study, a calculation method has been developed and examined with an analysis program that takes into account the second-order and material effects by using the stiffness matrix-displacement relationship. In the analysis program, firstly, the stiffness matrix of an element from local to global coordinates is created, then the stiffness matrix for each element of the system is transformed into the stiffness matrix of the system. The stiffness of a section, that is, the state of the plastic zone, is evaluated by the section plasticization rate. Considering this ratio, the stiffness matrix of an element is written. If the plasticization rate of the section is equal to one, the section becomes fully plastic; If it is equal to or less than zero, this part is perfectly elastic. The other case is between one and zero and the cross-section is partly elastic and partly plastic. SOMEPE and SOEP analysis programs, which are the doctoral studies of Tok, H. (2000), which calculate beyond behavior, were used. The developed SOMEPE method is a modified second-order elastoplastic calculation method. The special version of the SOMEPE method is called the SOEP method. When calculating with the SOMEPE method, sections with fully elastic, fully plastic or partially plastic regions are taken into account according to the stress distribution due to the axial force and bending moment at the element ends. However, in the SOEP method, the case that all the normal stresses in the cross-section are equal to the yield stress is the case of the fully plastic cross-section, and for the other cases, the case of the fully elastic cross-section is in question.

Originality

As a result of nonlinear analyzes SOMEPE, SOEP and SAP2000 analysis, the change of fix end moments according to the section plasticization rates, taking into account the beyond behavior of the steel frame systems, was observed. As a result of the calculations, this ratio took a value between zero and one, showing the situations between fully plastic and fully elastic for a section. The plasticization rate was expressed as a percentage of the

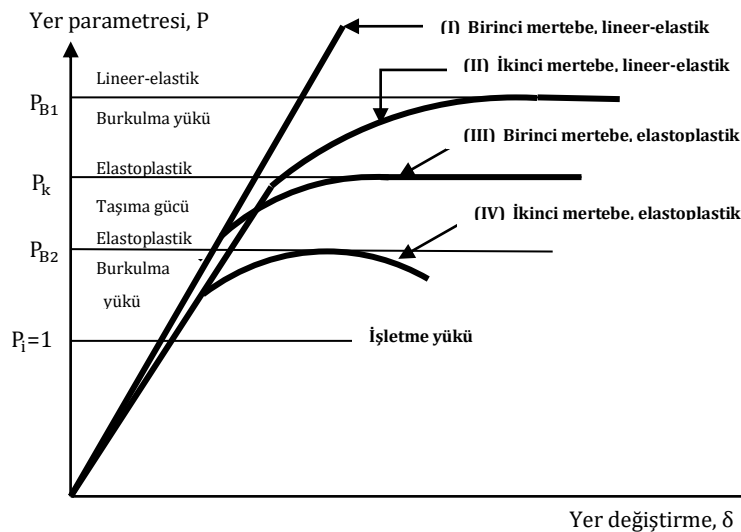
[†]İlgili yazar / Corresponding author: harikafatma@gmail.com, +90-344-300-1665

full plastic section and used in the fix end moment expression. Thus, with the equations obtained depending on the section plasticization rate, the effect of plastic deformations in the section on the fix end moments was revealed. The frame examples in this study, were calculated by the developed analysis method in the structural system. If the maximum stress at a section due to axial force and bending moment is smaller than the yielding stress, the section is considered as fully elastic and does not change the stiffness of the section. But, if some of the stresses at the section are equal to the yielding stress which is the maximum stress, plastic region at this section is the case and decreases the stiffness. Thus, the expressions of the equilibrium equations on the deformed geometry of the structural system were extracted and the stress and stiffness states in the cross-section were seen with a clear difference. By making analysis with this developed method, the formation of plastic hinges in the system was observed by increasing the lateral and vertical loads on the system separately or together. The result of the analysis gave the location, number, formation order of the plastic hinges and the collapse load parameters of the system. The results of the SOMEPE and SOEP calculation method proposed in this study are compared with the analysis results obtained in SAP2000, and it is seen that they are reliable. Analysis under current loads was made for two frame systems with concentrated load and distributed load. Similar studies for this structural system can be done by obtaining new relations for the loading conditions for other element loading conditions. It can also be examined for the plastic region, which expresses the beyond state, and the hardening region after it.

1. Giriş (Introduction)

Yapıların performans analizinin değerlendirilmesi için önce doğrusal olmayan davranışının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için doğrusal olmayan statik itme analiz yöntemi kullanılmaktadır. Statik itme analiz yöntemi, yapıların deprem yükleri altındaki gerçek davranışının belirlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bundan dolayı tasarım halindeki yapının elastik ötesi davranışları dikkate alınmıştır. Elastik ötesi davranışları belirlemek için yapı elemanlarında kullanılan en mühim etken malzeme davranışının modellenmesidir (Üçerler,1995). Sonuç olarak yapının yatay deprem yükü altındaki davranışın gerçeğe en yakın olmasını hedefleyen çalışmalar önemli bir yer almıştır. Çeliğin plastikleşme özelliği göz önüne tutularak, diğer malzemelere göre kıyasla daha fazla plastikleşmeye sahiptir.

Elastik ötesi davranışlar tespit edilirken yapı elemanları için kullanılan en yaygın model noktasal mafsallı modeldir. Statik programları kullanarak yapı sisteminin modellenmesi ve sayısal hesapların yapılması için bilgisayar programlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Düzlem sistem analizi için plastik mafsallı hipotezinden faydalanılarak, elasto-plastik analiz incelenmiştir. Şekil 1 de yük parametresi-yer değiştirme bağıntıları verilmiştir (Parikh, 1966).



Şekil 1. Yük Parametresi - Yer Değiştirme Bağıntıları (Load Parameter - Displacement Relations)

Bu çalışmada çubuk uçlarının plastik kesit oranlarına göre ankastrel momentlerinin değişimi incelenmiştir. Çelik çerçeve sistemleri için yatay ve düşey yükler altında elasto-plastik analiz metodu kullanılmıştır. Çelik elemanların elastik ötesi davranışı incelenmiştir (Aysal, 1992). Analizde bu metodun tercih edilmesinin başlıca sebebi hem izostatik hem de hiperstatik düzlem sistemlerin analizinin yapılabilmesidir. Çalışmamızdaki analizde bu metodun kullanılmasında diğer bir önemli etken bilgisayar ortamında bir analiz gerçekleştirileceğinden bilgisayar tabanlı analiz için matris yöntemlerin çok daha elverişli olmasıdır. Yapı sistemlerinin doğrusal

olmayan analizinin gerekliliğini benimsemiş birçok araştırmacı, söz konusu konu üzerinde çalışmış ve yeni yöntemler geliştirmişlerdir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Malzemelerin elastik ötesi davranışlarını modellemek üzere çeşitli davranış kabulleri yapılmaktadır. İdeal elastoplastik, ideal plastik, pekleşmeli elasto-plastik, lineer pekleşen ve tam plastik modeller örnek verilebilir. Yapı koşullarını dikkate alarak uygun bir malzeme modeli esas alınmalıdır (Yılmaz, 2003).

Malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan uzay çubuk sistemlerin ikinci merteye elasto-plastik hesabı, limit yüklerin bulunması ve göçme güvenliklerinin tayini için bir yük artımı yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemde, yatay yüklere oranla daha az değişim gösteren düşey yüklerin sabit değerleri altında, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan yatay yükler için hesap yapılmaktadır. Sisteme etkiyen düşey yüklerin belirli değerleri için, daha çok denge denklemlerine bağlı olan normal kuvvetler başlangıçta kolaylıkla tahmin edilebilmekte ve böylece geometri değişimlerinin denge denklemlerine olan etkisi doğrusallaştırılabilmektedir (İrtem, 1991).

Tek katlı iki açıklıklı çerçeve için deneyler yapılmıştır. Plastik bölgelerin oluşumu incelenmiş ve hesaplanan veriler sonuçlarla kıyaslanmıştır (Kanchanalai, 1977).

Tek gözlü, kapalı, dikdörtgen bir çerçevenin sabit ve değişken yatay yük etkisi altındaki elastik-plastik davranışı, taşıma gücü yöntemi ile ikinci merteye etkileri de dikkate alınmıştır. Ayrıca plastik mafsallı hipotezinden yararlanılarak yük-yer değiştirme bağıntıları elde edilmiştir (Aysal, 1992).

Düzlem sistemlerde ikinci merteye limit yükün hesabı için genel bir yük artımı yöntemi verilmektedir. Bu yöntemde yük çarpanıyla oluşturulan ilk plastik kesite, gerçek bir mafsallı yerleştirilmektedir. Mafsallı bir duruma gelen sistem, aynı şekilde yine çözülmektedir. Art arda plastik mafsallı oluşan kesite gerçek bir mafsallı yerleştirilerek hesap tekrarlanmaktadır. Bu arada sistem mafsallaştırma çarijitiğinin azaldığı gözlenebilmektedir. Sistemin kritik yükü, dış yük parametresinin altına düşünce işleme son verilmekte, son duruma ait yük parametresi sistemin limit yükünü vermektedir (Wood, 1958).

2. Merteye Teorisine göre analizde normal kuvvetlerin başlangıçta bilinmediği durumlar için ardışık yaklaşım yöntemi ve büyük geometri değişimlerini göz önüne almak için de yük artımı yöntemi verilmiştir. Verilen ardışık yaklaşım yönteminde, önce verilmiş dış etkilere ait normal kuvvetler tahmin edilmiştir ve sistem hesaplanarak 2. Merteye Teorisine göre normal kuvvetler bulunmaktadır. Yine bu yöntemle, bulunan normal kuvvetlerin başlangıçta tahmin edilenlere göre yakın bir değer sağlanmaktadır. Yük artımı yöntemiyle de, yüklere küçük artımlar verildiğinden dolayı yer değiştirmelerin küçük olması sağlanarak her artımda hesap doğrusallaştırılabilmekte ve geometri değişimlerinin uygunluk şartları üzerindeki etkisi hesaba katılmış olmaktadır (Çakıroğlu, 1980).

Lineer olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde, artan yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde lineer - elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolayında plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Kopma sırasındaki toplam şekil değiştirmelerin, lineer şekil değiştirmelere oranının büyük olduğu sünek malzemeden yapılmış sistemlerde, plastik şekil değiştirmelerin plastik mafsallı (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin lineer - elastik davrandığı varsayılabilir (Özer, 1987).

Yapıların plastik analizinin esasları, elastik analizden üstünlükleri ve plastik analiz yöntemleri verilmiştir. Bu yöntemlerde eğilme momenti-eğrilik bağıntısı elastoplastik olarak idealleştirilmiş ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin eleman boyunca yayılmayıp belirli kesitlerde toplandığını varsayan plastik mafsallı hipotezi kullanılmıştır (Hodge, 1959).

Çok katlı rijit çelik çerçevelerin limit yükünün hesabı için, ikinci merteye elastoplastik hesap yöntemi uygulanmıştır. Çözümde malzeme ideal elastoplastik kabul edilmiş ve plastik mafsallı hipotezi kullanılmıştır. Ayrıca normal kuvvetin eğilme momentine etkisi de göz önünde tutulmuştur (Liapunov, 1974).

Yapı mekaniği problemlerinde doğrusal olmayan davranış, malzeme özellikleri nedeniyle bünye denklemlerinin doğrusal olmamasından ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine ve geometrik uygunluk bağıntılarına etkisinden kaynaklanmaktadır. Malzeme davranışının ve geometri değişiminin doğrusal olmaması doğrusal olmayan davranışın başlıca sebepleridir (Özer, 2004).

İdeal elasto-plastik malzemeden yapılmış dikdörtgen kesitlerin Bernoulli-Navier hipotezi sonucu elde edilen moment-eğrilik bağıntısı ele alınarak, uç dönmeleri engellenmiş ideal elasto-plastik malzemeden yapılmış bir kolonun elastik ötesi davranışı incelenmiştir (Moy, 1996; Çakıroğlu, 1980).

İdeal elastik ve tam plastik malzemeden yapılmış çubuklara sahip iki boyutlu çerçevelerde, yüklerin adım adım artırılması ile çubuk uçlarında olduğu kabul edilen plastik mafsallarla, sonuçta, çerçevelerde bir göçme mekanizması oluşmaktadır. Her bir plastik mafsal çerçevede ilave bir dönme serbestliği oluşturmaktadır. Bu nedenle her plastik mafsal oluşumundan sonra rijitlik matris boyutunun artırıldığı bir çerçeve modeli ile birbirini takip eden iki plastik mafsal arasında ardışık elastik analizler yapılarak, çerçevelerin elastik-plastik analizi gerçekleştirilmektedir (Uslu, F. 2016).

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada çelik çerçeve sistemin ikinci merteye ve malzeme etkilerini dikkate alan bir hesap yöntemi elde edilmiştir. Bu hesap yöntemi ikinci merteye elastoplastik hesap metodu olup kısaca SOEP (second order elastoplastic analysis method) ve SOMEPE (second order modified elastoplastic analysis method) olarak adı verilmiştir. SOMEPE ve SOEP sistemin matris-deplasman yöntemiyle programlama dili kullanılarak bir yazılım programı geliştirilmiştir. SOMEPE metoduyla hesap yaparken, çubuk uçlarındaki aksel kuvvet ve eğilme momentinden dolayı oluşan gerilme dağılımına göre tam elastik, tam plastik veya elasto-plastik bölgesi bulunan kesit durumları gözönüne alınır. SOEP ise kesitteki normal gerilmelerin tamamının akma gerilmesine eşit olması hali için tam plastik kesit durumu, bunun dışındaki haller için tam elastik durum söz konusudur. Bu hesap metodu plastik mafsalların oluşum sırası, yeri, sayısı ve sistemin göçme anındaki mekanizma durumunu vermektedir. Ayrıca çelik çerçeve sistemin dayanımı hakkında göçme yükü parametrelerini vermektedir.

Literatürde yer alan bazı çalışmalarda (Doan-Ngoc2016; Dang 2016.; Chuc 2016; Balling 2016.; Ngo-Huu2016) da benzer şekilde, statik yükler altında düzlemsel çelik çerçevelerin doğrusal olmayan analizi yapılarak aksel kuvvet ve eğilme momenti arasındaki ikinci mertebeden etkilerine dayalı olarak bir Matlab bilgisayar programı geliştirilmiştir. Çaprazlı çerçevelerin plastik analizi çok karmaşık olduğu için (Daryan 2020; Palizi 2020) bazı çalışmalarda gerekli optimizasyonlar kullanılarak, çelik çaprazlı çerçevelerin göçme mekanizmasını ve göçme yükünü belirlemek için bir program önerilmiştir.

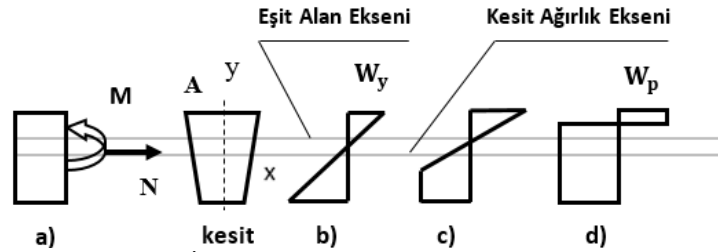
Yapı sistemlerinin analizinde ikinci merteye teorisi ve malzeme etkilerini dikkate alan hesap metodları geliştirilmiştir. Bu teoriye göre ileri hesap yöntemlerinden faydalanarak, çelik yapı elemanlarının yatay ve düşey yük etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışları incelenmiştir. Bu çalışmada, taşıyıcı sistemin SOEP ve SOMEPE analiz metoduna göre tasarlanmış yöntemler kullanılarak doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır (Tok, 2000).

Kullanılan sistemlerin nonlineer analizleri SOMEPE elastoplastik analiz metodu ve SAP2000 programıyla yapılmıştır. Bu analizdeki amaç çelik çerçeve sistemlerin nonlineer davranışlarını da dikkate alarak plastisite oranlarına göre ankastre uç momentlerinin değişimini incelemektir. Bu çalışmada taşıyıcı sistemin deformasyona uğramış geometrisi üzerinde denge denklemleri ifadeleri çıkartılarak, malzemeyi elastoplastik kabul ederek ve kesitteki gerilme durumuna göre rijitlik ifadesini kullanarak bir hesap yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu metod kullanılarak sistem üzerindeki yatay ve düşey yükleri ayrı ayrı veya birlikte arttırarak sistemdeki plastik mafsal oluşumu incelenmiştir. Bu hesap metodu, plastik mafsalların yeri, sayısı, oluşum sırası ve sistemin göçme anındaki mekanizma durumunu vermektedir. Analizlerde birimler ton ve metre cinsinden alınmıştır (Açıksarı, 2019).

Literatürde, daha önceki çalışmalarda (Tok, 2000; Açıksarı, 2019) da benzer şekilde çelik çerçevelerin analizi esnasında kesitlerdeki normal kuvvet ve eğilme momenti değişimlerini incelerken, kesitte plastikleşme oranına bakarak ankastre uç momentlerinin değişimi tespit edilmiştir.

3.1. Kesit Plastikleşme Oranının Elde Edilmesi (Obtaining the Plastic Section Ratio)

Şekil 2'de verilen y-y simetri eksenine ve A kesit alanına sahip kesitte, W_y elastik, W_p plastik mukavemet momentlerini, M eğilme momentini ve N normal kuvveti ifade etmektedir. Normal gerilmeler yaratan kesit tesirlerinin, kesitte akma gerilmesi (σ_y) oluşturacak büyüklüğe ulaşması halinde, eğilme momenti M_{yc} , aksel kuvvet ise N_{yc} halini alır. Bu durumda normal gerilme dağılımı Şekil 2 (b)'deki gibidir. Kesit normal gerilmelerin daha büyük değerleri için Şekil 2 (c)' de plastik şekil değiştirmeler oluşur. Kesitteki normal gerilmelerin tamamının akma gerilmesine ulaşmasını sağlayan eğilme momenti M_{pc} , aksel kuvvet ise N_{pc} olması durumunda normal gerilme dağılımı Şekil 2(d)'de verilmiştir.



Şekil 2. Eğilme Momenti Ve Normal Kuvvet İle Oluşan Normal Gerilme Durumu (Normal Stress Under The Axial Force And Bending Moment)

Şekil 2 (b)'deki durum için normal gerilme, kesit tesiri ilişkisi Denklem (1) ile ifade edilebilir:

$$\sigma_y = \frac{M_{yc}}{W_y} + \frac{N_{yc}}{A} \quad (1)$$

Denklem (1)'in her iki tarafı σ_y ile bölüldüğünde, Denklem (2) elde edilir.

$$1 = \frac{M_{yc}}{M_y} + \frac{N_{yc}}{N_y} \quad (2)$$

Denklemden $M_y = W_y \sigma_y$ ve $N_y = A \sigma_y$ olmaktadır. Şekil 2 (d)'deki normal gerilme durumu dikdörtgen kesitler için Denklem (3) ile I kesitler için Denklem (4) ve (5) ile elde edilir (AISC, 1999).

$$\frac{M_{yc}}{M_y} + \left(\frac{N_{yc}}{N_y} \right)^2 = 1 \quad (3)$$

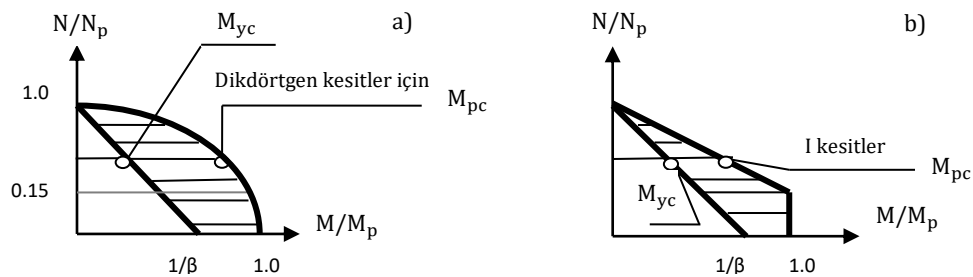
$1 \geq \frac{N_{pc}}{N_p} \geq 0.15$ için:

$$0.85 \frac{M_{pc}}{M_p} + \frac{N_{pc}}{N_p} = 1 \quad (4)$$

$0 \leq \frac{N_{pc}}{N_p} < 0.15$ için:

$$M_{pc} = M_p \quad (5)$$

Burada $M_p = W_p \sigma_y$ ve $N_p = N_y = A \sigma_y$ 'dir. Kesit faktörü dikdörtgen kesitlerde $\beta = \frac{W_p}{W_y}$ böylece $\beta = 1.5$ olur. I kesitlerinde ise $\beta = 1.12 - 1.20$ arasında değer alır. Denklem (3), (4) ve (5) ifadeleriyle Şekil 3'de verilen grafikler elde edilir.



Şekil 3. Elastik Ve Plastik Mukavemet Yüzeylerinde (A) Dikdörtgen Kesitler Ve (B) I Kesitlerde Diyagram (Elastic And Plastic Strength Surface Diagram In (A) Rectangular Sections And (B) I-Sections)

Bu grafiklerdeki eğriler elastik ve plastik mukavemet yüzeylerini temsil etmektedir. Bu grafiklerde taralı alanlardaki eğilme momenti ve normal kuvvet değerleri, tam elastik ve tam plastik durum arasında bulunur. Şekil 3'de taralı alanda gösterilen yatay çizgi üzerindeki M_{pc} ve M_{yc} 'nin arasında kalan moment değerlerinin M_{yc} farkı ile M_{pc} ve M_{yc} farkına oranıdır. Moment değerleri taralı alan dışında olması durumunda $M_{pc} = M_{yc}$ eşit alınır. Burada M kesit momenti, M_{yc} kesitin taşıyabileceği max elastik moment ve M_{pc} ise kesitte oluşan plastik momenttir. M_{pc} ve M_{yc} 'nin arasında kalan bu bölgedeki normal gerilme durumları dikkate alındığında plastikleşme parametresi rijitlik ifadelerinde kullanılarak statik analiz yapılır. Böylece rijitlik ifadelerinde kullanılan plastikleşme parametresi Denklem (6)'daki gibi elde edilir.

$$\eta = \frac{M_{ij} - M_{yc}}{M_{pc} - M_{yc}} \quad (6)$$

' η ' 0 ile 1 arasında olan bir değerdir. Kesit durumu için $\eta = 0$ durumunda tam elastik, $\eta = 1$ halinde ise tam plastiktir. Bu denklemde bir çubuk için M_{ij} eğilme momentini ifade ederken; M_{yc} elastik eğilme momenti kapasitesini M_{pc} ise plastik eğilme momenti kapasitesini ifade eder (Tok, 2002).

3.2. Plastik Mafsallı Oluşumu (Plastic Hinge Formation)

Bir plastik mafsallı oluşabilmesi için normal kuvvet ve moment değerlerinin Şekil 3'de verilen plastik mukavemet yüzey eğrilerinde olması gerekiyor. Buna göre analiz esnasında plastik mafsallı şu şekilde oluşturulur. İlk aşamada, Denklem (3), (4) ve (5) ile dikdörtgen ve I kesitlerde tanımlanan bütün çubuk uç kesit plastikleşme değerleri hesap edilir. Bu değerlerin 1 den küçük olması halinde Denklem (7), (8a), (8b) ile kesitlerde k değerleri hesaplanır. Böylece k değerlerinden en küçük olanı seçilir ve bu değerle tanımlanan kesitlerdeki normal kuvvet ve moment değerleri çarpılarak yeni normal kuvvet ve yeni moment değerleri elde edilir. Bir önceki hesaplanan moment ve normal kuvvet değerlerine eklenir.

İkinci aşamada hesaplanan en küçük k değerlerinin bulunduğu kesite mafsallı ataması yapılarak taşıyıcı sitem aynı yükler altında tekrar analiz edilir. Analiz sonucundaki değerler normal kuvvet ve moment değerleri ile Denklem (7), (8a) ve (8b) yerine yazılarak göçme mekanizması elde edilene kadar işlem tekrarlanır. Denklemde M eğilme momenti, N aksel kuvvet ve k yük parametresidir.

Dikdörtgen kesitler için:

$$\left(\frac{M}{M_p} + \left(\frac{N}{N_p}\right)^2\right) + k\left(\frac{M}{M_p} + \left(\frac{N}{N_p}\right)^2\right) = 1 \quad (7)$$

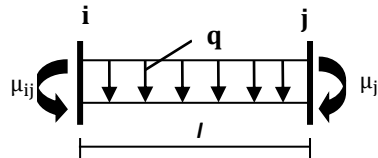
I kesitler için:

$$1 \geq \frac{N}{N_p} \geq 0.15 \text{ için:} \quad \left(0.85 \frac{M}{M_p} + \frac{N}{N_p}\right) + k\left(0.85 \frac{M}{M_p} + \frac{N}{N_p}\right) = 1 \quad (8a)$$

$$0 < \frac{N}{N_p} < 0.15 \text{ için:} \quad \left(\frac{M}{M_p}\right) + k\left(\frac{M}{M_p}\right) = 1 \quad (8b)$$

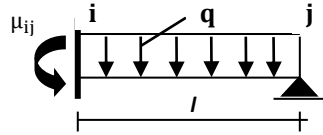
3.3. Kesit Plastikleşme Oranının Ankastrelilik Momentlerine Etkisi (Effect of Plastic Section Ratio to Fix End Moments)

Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de çubuklarda mesnet şartları ve yükleme durumu ankastrelilik momentleri Denklem (9), (10), (14) ve (15) ile hesaplanmıştır. Düzgün yayılı yük ve tekil yük durumları için kesitplastikleşme oranının ankastrelilik momentlerine etkisi Denklem (12), (13), (17) ve (18) ile incelenmiştir.



Şekil 4. İki Ucu Ankastre, Yayılı Yüklü Çubuğun Ankastrelik Momentleri (Fix End Moments Both End SareFixed Of A Uniformly Distributed Loaded Element)

$$\mu_{ij} = \frac{ql^2}{12} \quad \mu_{ji} = -\frac{ql^2}{12} \quad (9)$$



Şekil 5. Bir Ucu Mafsallı, Yayılı Yüklü Çubuğun Ankastrelilik Momentleri (Fix End Moments Of A Uniformly Distributed Loaded Element One End Is Hinged)

$$\mu_{ij} = \frac{ql^2}{8} \quad (10)$$

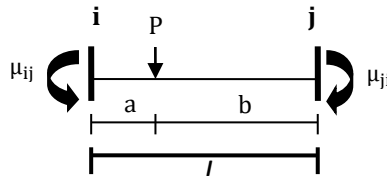
Düzgün yayılı yüklü çubuklarda iki ucu ankastre uçlu bir elemanın i uç değeriyle, düzgün yayılı yüklü çubuğun bir ucu mafsallı durumunda i uç değerinin ankastrelilik momentinin farkı ΔM_{qij} 'dir. Bulunan ΔM_{qij} değeri Denklem (12) ve (13)'e eklenerek bir çubuğun i ve j ucu için ankastrelilik momentlerinin değişimi elde edilmiştir.

$$\Delta M_{qij} = \frac{ql^2}{24} = \frac{ql^2}{8} - \frac{ql^2}{12} \quad (11)$$

Düzgün yayılı yüklü çubuklar için plastik kesit oranlarına göre ankastrelilik momentleri Denklem (12) ve (13) deki gibi hesaplanmıştır.

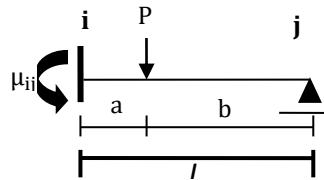
$$0 \leq \eta_i \leq 1 \text{ için:} \quad M_{q'ij} = \left(\frac{ql^2}{12} + \Delta M_{qij} \eta_j \right) (1 - \eta_i) \quad (12)$$

$$0 \leq \eta_j \leq 1 \text{ için:} \quad M_{q'ji} = - \left(\frac{ql^2}{12} + \Delta M_{qij} \eta_i \right) (1 - \eta_j) \quad (13)$$



Şekil6. İki Ucu Ankastre, Tekil Yüklü Çubuğun Ankastrelilik Momentleri (Fix End Moments Both End Sare Fixed Of A Concentrated Loaded Element)

$$\mu_{ij} = \frac{Pab^2}{l^2} \quad \mu_{ji} = - \frac{Pa^2b}{l^2} \quad (14)$$



Şekil 7. Bir Ucu Mafsallı, Tekil Yüklü Çubuğun Ankastrelilik Momentleri (Fix End Moments Of A Concentrated Loaded Element One End Is Hinged)

$$\mu_{ij} = \frac{Pab(b+l)}{2l^2} \quad (15)$$

Tekil yüklü çubuğun iki ucu ankastre uçlu bir elemanın i uç değeriyle, tekil yüklü çubuğun bir ucu mafsallı durumunda i uç değerinin ankastrelilik momentinin farkı ΔM_{pij} 'dir. Bulunan ΔM_{pij} değeri Denklem (14) ve (15)'e eklenerek bir çubuğun i ve j ucu için ankastrelilik momentlerinin değişimi elde edilmiştir.

$$\Delta M_{pij} = \frac{Pabl - Pa^2b}{2l^2} = \frac{Pab(b+l)}{2l^2} - \frac{Pab^2}{l^2} \quad (16)$$

Tekil yüklü çubuklar için plastik kesit oranlarına göre ankastrelik momentleri Denklem (17) ve (18) deki gibi hesaplanmıştır.

$$0 \leq \eta_i \leq 1 \text{ için: } M_{p'ij} = \left(\frac{Pab^2}{L^2} + \Delta M_{pij} \eta_j \right) (1 - \eta_i) \quad (17)$$

$$0 \leq \eta_j \leq 1 \text{ için: } M_{p'ji} = - \left(\frac{Pa^2b}{L^2} + \Delta M_{pij} \eta_i \right) (1 - \eta_j) \quad (18)$$

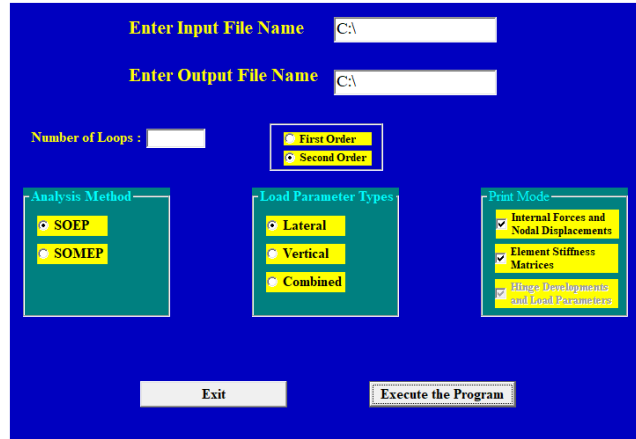
Denklem (17)'de $M_{p'ij}$ değeri M_{pij} i ucu mafsallaşma esnasındaki ankastrelik momentini, Denklem (18)'de $M_{p'ji}$ değeri ise M_{pji} j ucu mafsallaşma esnasındaki ankastrelik momentini ifade eder.

i ve j uçlu bir elemanın ankastre uç momentlerinin yüzde değişimi Denklem (19) bağıntısıyla elde edilmiştir. Burada $M_{\max u\check{c}}$ maximum alacağı ankastre uç moment değeri ve $M_{iu\check{c},ju\check{c}}$ analiz süresince çubuğun i ve j uçlarına etkiyen ankastre uç momentleridir.

$$M_{i,j\%} = \frac{M_{\max u\check{c}} - M_{iu\check{c},ju\check{c}}}{M_{\max u\check{c}}} \times 100 \quad (19)$$

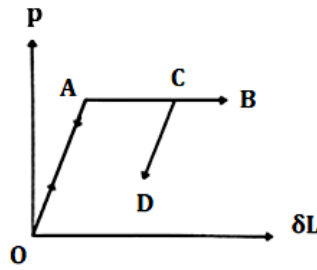
4. Bilgisayar Programı (Computer Program)

Nonlinear analizler yapılarak taşıyıcı sistemlerde, elastik ötesi durumda ankastrelik momentlerinin değişimleri hesaplanmıştır. Bu değişimler SAP2000, SOEP ve SOMEP analiz programlarıyla hesaplanarak analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Çelik malzemeli çerçevenin yatay ve düşey yükleri aşamalı arttırılmıştır. Taşıyıcı sistem SAP2000, SOEP ve SOMEP analiz programlarıyla modellenerek analizleri yapılmıştır. SAP2000 programında, çerçeve sistemin modellenmesi için, hem çerçeve sistemin hem de mafsal oluşum hallerinin görsellerinden faydalanılmıştır.



Şekil 8. SOMEP Ve SOEP Programın Ara Yüzü (Interface Program SOMEP And SOEP)

Bilgisayar programında Şekil 8'deki analizde seçenekli analiz programı kullanılmıştır. Bu seçeneklerde yatay ile düşey yüklerin kademeli arttırılmasıyla veya yatay ve düşey yüklerin birlikte arttırılmasıyla nonlinear hesap yöntemi uygulanmıştır. SOMEP ve SOEP programın opsiyonlarında yatay yüklerin kademeli arttırılmasıyla (Load Lateral Parameter) "LLP", düşey yüklerin kademeli arttırılmasıyla "VLP" (Vertical Load Parameter) veya "LLP" ve "VLP" yüklerin birlikte arttırılmasıyla (Combined Load Parameter) "CLP" doğrusal olmayan hesap yöntemi uygulanmıştır (Açıksarı, 2019). Taşıyıcı sistemin nonlinear hesap yöntemi olan artımsal itme analizi, taşıyıcı sisteminin deprem esnasındaki davranışını daha gerçekçi sunmaktadır. Ayrıca hesaplamaların daha doğru bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Analizde malzeme modeli olarak ideal elastoplastik için Şekil 9'daki davranış durumu kabul edilmiştir. Elastoplastik malzeme için bilineer (iki doğrudan oluşan) gerilme-deformasyon bağıntıları kullanılır. Kesit, en uç kısmındaki lifleri akmaya başlayınca kadar elastik kalmaktadır. Moment arttıkça plastik deformasyonların kesitte ve elemanın uzunluğu boyunca artarak yayıldığı kabul edilir (Yurtsever, 2005).

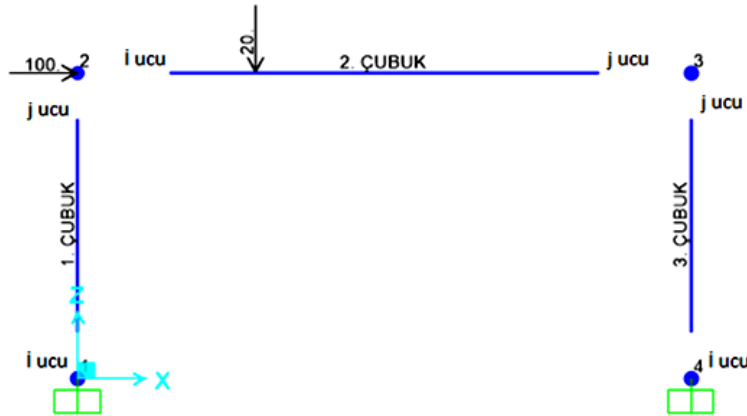


Şekil 9. İdeal Elastoplastik Malzeme Davranışı (Ideal Elastoplastic Material Behavior)

4.1. Tekil Yüklü Çerçeve Sistem (Frame System With Concentrated Load)

Şekil 10 için tekil yüklü örnekte statik itme analizi kullanılarak, çelik taşıyıcı sistemin SOEP ve SOMEP analiz metoduna, ankastrelilik momentlerin değişimini dikkate alan yazılım eklenerek yeni bir program elde edilmiştir. Böylece mevcut SOMEP ve SOEP analiz metodunun, programlama dili kullanılarak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu çalışmada örnek olarak ele alınan sistemlerin nonlineer analizleri SOMEP elastoplastik analiz metodu ve SAP2000 programıyla yapılmıştır. Bu analizdeki örneklerde, çelik çerçeve sistemlerin nonlineer davranışlarını da dikkate alarak plastik kesit oranlarına göre ankastrelilik momentlerinin değişimi incelenmiştir. SAP2000 programında yapılan statik itme analizi sonucunda elde edilen moment değerleri kullanılarak kesit plastikleşme oranları hesaplanmıştır. Analizlerde malzeme bakımından ve geometri bakımından ikinci mertebe etkileri göz önüne alınmıştır.

Şekil 10'daki örnekte kolonda H400*634, kirişte IPE750*222 çelik profili kullanılmıştır. Kolonlar arası açıklık 10,0 m ve yükseklik 5,0 m'dir. Çerçeveyi meydana getiren kesit alanları kolonda 0,0808 m², kirişte 0,0283 m² dir. Atalet momentleri ise kolonda 0,002756 m⁴ kirişte 0,002782 m⁴'tür. Çelik çerçevenin 2 numaralı düğüm noktasına 100 ton'luk tekil yatay yük yerleştirilmiştir. Buna ek olarak 2 numaralı elemana i ucundan 2 metre uzaklıkta 20 ton'luk düşey yük etki etmektedir.



Şekil 10. Tek Katlı Tek Açıklıklı Tekil Yüklü Çerçeve (Concentrated Loaded Frame With The One Span And One Storey)

Şekil 10'da modellenen örnek, çelik yapı sisteminde yatay ve düşey yük kesit plastikleşme oranının artan değerleri için hesaplanmıştır. Göçmeye karşı gelen yatay kesit plastikleşme oranı elde edilmiştir ve buna bağlı olarak SOMEP ve SOEP analiz metoduyla ankastrelilik momentlerinin değişimi adım adım tespit edilmiştir.

4.1.1. Tekil Yüklü Sistemin Analiz Sonuçları (Analysis Results Of Concentrated Loaded System)

Şekil 10'da iki ucu ankastre tekil yüklü çerçeve için kirişteki (2. Çubuk) 2. düğüm ve 3. düğüm noktasında bulunan i ve j uçlarında ankastrelilik momentlerin değerleri Denklem (14) bağıntısına göre hesaplanmıştır. Bu değerler Şekil 11'de görüldüğü gibidir.

2 nolu çubuktaki hesaplamalar sonucunda SOMEP ve SOEP analizinde i uçlarının ankastrelilik momenti doğrusal artış göstermiştir. Elastik moment kapasitesi aşılmamıştır. Başka bir ifadeyle $M \leq M_y$ için Tablo 1 ve Tablo 2 veriler sonucu Tablo 3'de gösterimi yapılan değerlerle belirtilmiştir.

Tablo 1. Tekil Yük İçin SOMEPE Ankaştrelik Momentleri (SOMEPE Fix End Moments For The Concentrated Load)

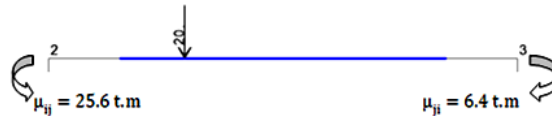
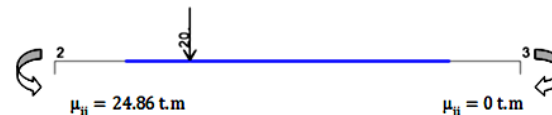
Analiz Adımları	Yük Çarpanı	Düğüm	Ankaştre Ucu	Ankaştrelik Moment(tm)
1	1	2	i	25.6
		3	j	6.4
2	1.47	2	i	25.6
		3	j	6.4
3	1.91	2	i	24.86
		3	j	0
4	2.08	2	i	15.64
		3	j	0
5	2.11	2	i	10.7
		3	j	0
6	2.151678	2	i	7.5
		3	j	0
7	2.151849	2	i	0
		3	j	0

Tablo 2. Tekil Yük İçin SOEP Ankaştrelik Momentleri (SOEP Fix End Moments For The Concentrated Load)

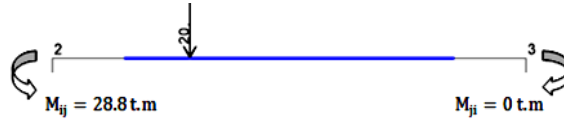
Analiz Adımları	Yük Çarpanı	Düğüm	Ankaştre Ucu	Ankaştrelik Moment(tm)
1	1	2	i	25.6
		3	j	6.4
2	1.47	2	i	25.6
		3	j	6.4
3	1.91	2	i	28.8
		3	j	0
4	2.08	2	i	28.8
		3	j	0
5	2.11	2	i	28.8
		3	j	0
6	2.151678	2	i	0
		3	j	0
7	2.151849	2	i	0
		3	j	0

Tablo 3. Tekil Yük İçin SOMEPE Ve SOEP Ankaştrelik Momentleri (SOMEPE And SOEP Fix End Moments For The Concentrated Load)

Analiz Adımları	Yük Çarpanı	SOMEPE Ankaştrelik Momenti(t.m)	SOEP Ankaştrelik Momenti(t.m)	My(t.m)	Mp(t.m)
1	1	80	80	171.648	197.4
2	1.47	118	118	171.648	197.4
3	1.91	153.143	153.143	171.648	197.4
4	2.08	168.14	168.139	171.648	197.4
5	2.11	176.464	168.883	171.648	197.4
6	2.1516	195.329	195.339	171.648	197.4
7	2.1518	195.456	195.426	171.648	197.4

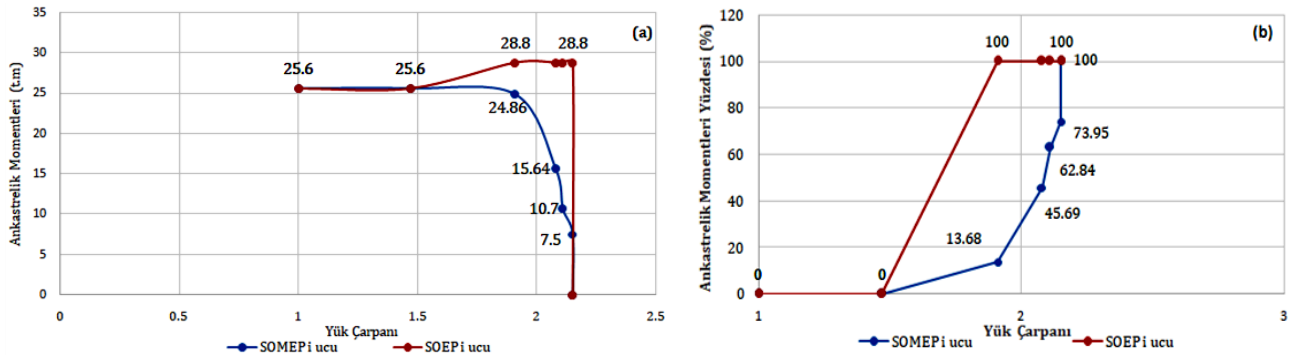
**Şekil 11.** 2 Nolu Çubuğun Ankaştrelik Momentleri (Fix End Moments Of Element No. 2)**Şekil 12.** SOMEPE Analizine Göre Ankaştrelik Momentleri (Fix End Moments With Respect To SOMEPE Analysis)

Şekil 10'daki örnekte 2. çubuktaki (2. düğüm ve 3. düğüm) düğüm noktalarında i ve j uçlarının SOMEPE metoduna göre analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Analiz sonucu Denklem (17) ve (18) bağıntılarına göre 2 nolu çubuk ankastrelik moment değerleri Şekil 12'de verilmiştir. Hem SOMEPE hem de SOEP analiz metoduna göre elde edilen i ucu ankastrelik momentlerinin değişimleri Tablo 3'de verilmiştir. Şekil 10'daki örnekte 2. çubuktaki (2. düğüm ve 3. düğüm noktası) düğüm noktalarında i ve j uçlarının SOEP metoduna göre analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Analiz sonucu Denklem (15) bağıntısına göre 2 nolu çubuk ankastrelik moment değerleri Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 13. j Ucu Mafsallı 2 Nolu Çubuğun Ankastrelik Momentleri (Fix End Moments Of Element No. 2 With Hinged j End)

Elastoplastik analiz metodunda hesaplanan (2. çubuk 2. düğüm noktası) i ucu ankastrelik moment değerleri Şekil 14' de SOMEPE ve SOEP değişimi grafikte doğrusal bir artış seyretmemiştir. Elde edilen veriler SOMEPE elastoplastik analiz metoduna göre 2. çubuk i ucunda elastik moment kapasitesi aşılmaktadır. Bu durumda elastik bölgenin ötesine geçildiği ama tam plastikleşmenin gerçekleşmediği elastoplastik durumu Tablo 3 de verilmiştir. Yani $M_y \leq M \leq M_p$ 'dir. Ardışık analizler sonucu Şekil 14'de verilen grafikte SOMEPE ve SOEP i ve j uçlarının ankastrelik momentleri son ardışık yük çarpanı artımı durumunda verilen Tablo 3'de görüldüğü gibi tam plastik kesit durum olduğu görülmektedir. Yani $M = M_p$ 'dir. Tablo 3'de verilen ilk yük çarpanı için ankastrelik momentler Şekil 11'deki değerleri alır. Şekil 12'de ise, ardışık hesaplamalar sonucunda elde edilen yük çarpanı için ankastrelik momentleri hesaplanmıştır. Çelik çerçevenin SOEP ve SOMEPE analiz metodundan göçme yük çarpanı ve ankastrelik moment değerleri, başlangıç ankastrelik momentleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 14'deki değerler ile karşılaştırma sonuçları verilmiştir. Ankastrelik momentlerinin plastik kesit oranlarının değişimi yüzde olarak Şekil 14'de gösterilmiştir.



Şekil 14. Tekil Yük İçin 2 Nolu Çubuğun SOMEPE Ve SOEP (A) Ankastrelik Momentleri Ve (B) Yüzdesele Değişimi (SOMEPE And SOEP (A) Fix End Moments And (B) Percentage Changing Concentrated Load For The Element No. 2)

Tablo 4. SOMEPE Ve SAP2000 İçin Moment Değerleri (Moment Values For SOMEPE And SAP2000)

Adım No	Çubuk No	SOMEPE Analiz Metodu (t.m)		SAP2000 Analiz Metodu (t.m)	
1	1. Çubuk	M _i = 155.949	M _j = 80	M _i = 182.39	M _j = 79.91
	2. Çubuk	M _i = 80	M _j = 103.119	M _i = 79.91	M _j = 133.01
	3. Çubuk	M _i = 103.119	M _j = 161.285	M _i = 133.01	M _j = 201.03
2	1. Çubuk	M _i = 229.885	M _j = 117.928	M _i = 278.52	M _j = 127.06
	2. Çubuk	M _i = 117.928	M _j = 152.008	M _i = 127.06	M _j = 186.41
	3. Çubuk	M _i = 152.008	M _j = 237.752	M _i = 186.41	M _j = 293.03
3	1. Çubuk	M _i = 298.532	M _j = 153.143	M _i = 328.43	M _j = 148.53
	2. Çubuk	M _i = 153.143	M _j = 197.4	M _i = 148.53	M _j = 188.47
	3. Çubuk	M _i = 197.4	M _j = 308.748	M _i = 188.47	M _j = 329.35
	1. Çubuk	M _i = 342.24	M _j = 168.14	M _i = 339.95	M _j = 172.31

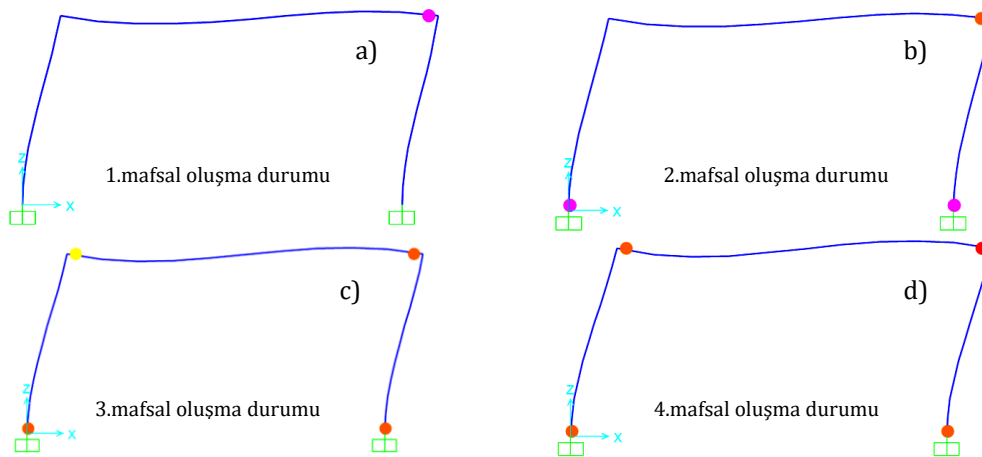
4	2. Çubuk	Mi = 168.14	Mj = 197.4	Mi = 172.31	Mj = 190.76
	3. Çubuk	Mi = 197.4	Mj = 335.1	Mi = 190.76	Mj = 339.80
	1. Çubuk	Mi = 342.24	Mj = 176.464	Mi = 341.12	Mj = 186.39
5	2. Çubuk	Mi = 176.464	Mj = 197.4	Mi = 186.39	Mj = 192.28
	3. Çubuk	Mi = 197.4	Mj = 342.4	Mi = 192.28	Mj = 340.85
	1. Çubuk	Mi = 342.4	Mj = 195.329	Mi = 344.01	Mj = 189.67
6	2. Çubuk	Mi = 195.329	Mj = 197.4	Mi = 189.67	Mj = 195.67
	3. Çubuk	Mi = 197.4	Mj = 342.24	Mi = 195.67	Mj = 343.73
	1. Çubuk	Mi = 342.24	Mj = 195.456	Mi = 349.07	Mj = 195.52
7	2. Çubuk	Mi = 195.456	Mj = 197.4	Mi = 195.52	Mj = 201.61
	3. Çubuk	Mi = 197.4	Mj = 342.24	Mi = 201.61	Mj = 348.78

İdeal elastoplastik malzemenin moment değerleri bağıntılar ile hesaplanmıştır. SOMEP de malzeme modeli Şekil 9'daki gibi kabul edilmiştir. SAP2000 de ise iterasyon hatası oluşmaması için Şekil 9'da A-B doğru parçasına %10 eğim verilmiştir. Moment değerleri SAP2000 ve SOMEP analiz metodu sonuçlarına göre karşılaştırılması Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 5. Sistemde 2. Çubuk i Ucu İçin Plastikleşme Parametrelerinin Karşılaştırılması (Comparison Of The Plasticization Parameters For Element 2 i End İn The System)

SOMEP Analiz Metodu		SAP2000 Pushover Analiz Metodu	
Analiz Adımları	Kesit Plastikleşme Oranı	Analiz Adımları	Kesit Plastikleşme Oranı
1	-3.558	1	3.562
2	-2.086	2	1.731
3	-2.086	3	0.897
4	-0.136	4	0.025
5	0.187	5	0.572
6	0.919	6	0.699
7	0.924	7	0.926

İdeal elastoplastik malzemenin SOMEP elastoplastik analiz metodu ve SAP2000 statik itme analizi metoduna göre 2. çubuk i ucu için plastik kesit oranlarının karşılaştırılması Tablo 5'de verilmiştir.

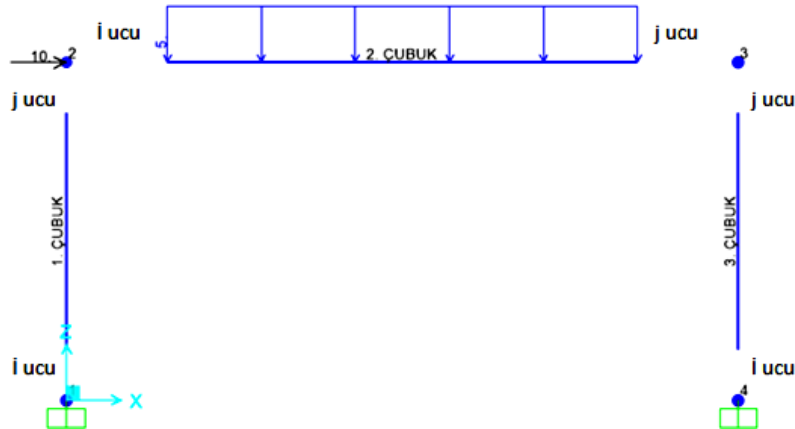


Şekil 15. Çerçeve Sistemdeki (A) Elastik Ötesi-Hemen Kullanım Seviyesi Aralığı (Minimum Hasar, Pembe), (B) Göçme Bölgesi (Turuncu), (C) Gerilmenin Boşalıp Kırılmaların Başladığı Aralık (Sarı) Ve (D) Tamamen Göçme Noktası (Kırmızı) Plastik Mafsal Oluşma Durumları (In The Frame System (A) Beyond Elastic-İmmediate Use Level Range (Minimum Damage, Pink), (B) Failure Zone (Orange), (C) The Range Where The Stress Is Released And The Fractures Begin (Yellow) And (D) Complete Collapse Point (Red) Plastic Hinge Formation Situations

Çerçeveler, bir plastik mafsallı geliştirilene kadar uygulanan yüklerin her adımda kademeli olarak artırıldığı adım adım elastoplastik analiz yöntemi kullanılarak analiz edilir. Bu elastoplastik analiz, bir sonraki plastik mafsallı geliştirilene kadar dış yükleri aşamalı olarak artırarak ve yeni azaltılmış plastik momentleri uygulayarak tekrarlanır. Bu adım adım elastoplastik analiz, çerçeve kısmen veya tamamen çökene kadar devam eder (Uslu,2021; Bayer, 2021; Saraçoğlu, 2021). İdeal elastoplastik malzemenin SAP2000 ve SOMEPE analiz metodu sonuçlarına göre Şekil 15’de çubuk uçlarında plastik mafsallı oluşum sırası aşamalı olarak gösterilmiştir.

4.2. Yayılı yüklü çerçeve sistem (Frame System With Uniformly Distributed Load)

Şekil 16’da yayılı yüklü örnek için düzlem çelik çerçeve incelenmiştir. Bu örnekte çelik yapı sisteminin SOEP ve SOMEPE analiz metoduna göre hesap yöntemleri kullanılarak doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır. Sistemde kolonlar H400*634, kirişte IPE750*222 çelik profili kullanılmıştır. Çelik çerçevenin kolonlar arası açıklık 10,0 m, kat yüksekliği ise 5,0 m’dir. Çerçeveyi meydana getiren kesit alanları kolonda 0,0808 m², kirişte 0,0283 m² dir. Atalet momentleri ise kolonda 0,002756 m⁴, kirişte 0,002782 m⁴tür. Çerçevenin 2 numaralı düğüm noktasına 10 tonluk tekil yatay yük, 2 numaralı elemana 5 tonluk yayılı yük etki etmektedir.



Şekil 16. Tek Katlı Tek Açıklıklı Yayılı Yüklü Çerçeve (Uniformly Distributed Loaded Frame With The One Span And One Storey)

4.2.2. Yayılı Yüklü Sistemin Analiz Sonuçları (Analysis Result Of Uniformly Distributed Loaded System)

Şekil 16’da tek katlı tek açıklıklı yayılı yüklü çerçeve için (2. Çubuk) 2. düğüm ve 3. düğüm noktasında bulunan i ve j uçlarında ankastrelik momentlerin değerleri Denklem (9) bağıntısına göre hesaplanmıştır. Bu değerler Şekil 17’de görüldüğü gibidir.

Tablo 6. Yayılı Yük İçin SOMEPE Ankastrelik Momentleri (SOMEPE Fix End Moments For Uniformly Distributed Load)

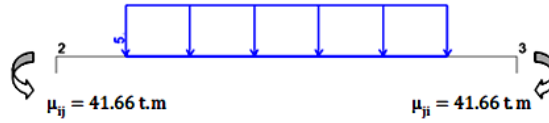
Analiz Adımları	Yük Çarpanı	Düğüm	Ankastre Ucu	Ankastrelik Moment(tm)
1	3.72	2	i	41.66
		3	j	41.66
2	4.66	2	i	62.5
		3	j	0
3	5.66	2	i	62.5
		3	j	0
4	6.66	2	i	57.326
		3	j	0
5	7.66	2	i	28
		3	j	0
6	8.66	2	i	10.45
		3	j	0
7	9.66	2	i	2.86
		3	j	0
8	10.66	2	i	0.22
		3	j	0

Tablo 7. Yayılı Yük İçin SOEP Ankaştrelik Momentleri (SOEP Fix End Moments For Uniformly Distributed Load)

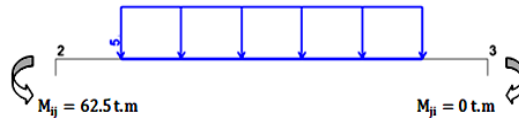
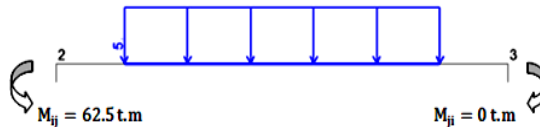
Analiz Adımları	Yük Çarpanı	Düğüm	Ankaştre Ucu	Ankaştrelik Moment(t.m)
1	3.72	2	i	41.66
		3	j	41.66
2	4.66	2	i	62.5
		3	j	0
3	5.66	2	i	0
		3	j	0
4	6.66	2	i	0
		3	j	0
5	7.66	2	i	0
		3	j	0
6	8.66	2	i	0
		3	j	0
7	9.66	2	i	0
		3	j	0
8	10.66	2	i	0
		3	j	0

Tablo 8. Yayılı Yük İçin SOMEPE Ve SOEP Ankaştrelik Momentleri (SOMEPE And SOEP Fix End Moments For Uniformly Distributed Load)

Analiz Adımları	Yük Çarpanı	SOMEPE Ankaştrelik Momenti(t.m)	SOEP Ankaştrelik Momenti(t.m)	My(t.m)	Mp(t.m)
1	3.72	41.66	87.769	171.648	197.4
2	4.66	62.5	109.776	171.648	197.4
3	5.66	62.5	197.4	171.648	197.4
4	6.66	57.326	197.4	171.648	197.4
5	7.66	28	197.4	171.648	197.4
6	8.66	10.45	197.4	171.648	197.4
7	9.66	2.86	197.4	171.648	197.4
8	10.66	0.22	197.4	171.648	197.4

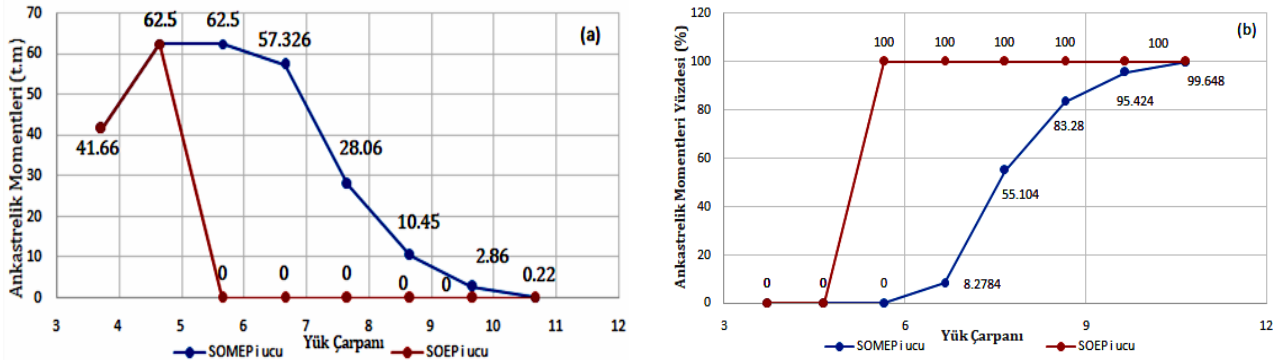
**Şekil 17.** 2 Nolu Çubuğun Ankaştrelik Momentleri (Fix End Moments Of Element No. 2)

2 nolu çubuktaki hesaplamalar sonucunda SOMEPE ve SOEP i uçlarının ankaştrelik momenti doğrusal artış göstermiştir. Elastik moment kapasitesinin aşılmasıdır. Başka bir ifadeyle $M \leq My$ olduğu Tablo 6 ve Tablo 7 veriler sonucu Tablo 8'de gösterimi yapılan değerlerle belirtilmiştir.

**Şekil 18.** SOMEPE Analizine Göre Ankaştrelik Momentleri (Fix End Moments With Respect To SOMEPE Analysis)**Şekil 19.** j Ucu Mafsallı 2 Nolu Çubuğun Ankaştrelik Momentleri (Fix End Moments Of Element No. 2 With Hinged j End)

Şekil 16'daki örnekte 2. çubuktaki (2. düğüm ve 3. düğüm) düğüm noktalarında i ve j uçlarının SOMEPE metoduna göre analiz sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Analiz sonucu Denklem (12) ve (13) bağıntılarına göre 2 nolu çubuk ankaştrelik moment değerleri Şekil 18'de verilmiştir. Hem SOMEPE hem de SOEP analiz metoduna göre elde edilen i ucu ankaştrelik momentlerinin değişimleri Tablo 8'de verilmiştir.

Şekil 16'daki örnekte 2. çubuktaki (2. düğüm ve 3. düğüm noktası) düğüm noktalarında i ve j uçlarının SOEP metoduna göre analiz sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Analiz sonucu (9) bağıntısına göre 2 nolu çubuk ankastrel moment değerleri Şekil 19'da verilmiştir. Elastoplastik analiz metodunda hesaplanan (2. çubuk 2. düğüm noktası) i ucu ankastrel moment değerleri Şekil 20'deki grafikte doğrusal bir artış seyretmemiştir. Elde edilen veriler SOMEPE elastoplastik analiz metoduna göre 2. çubuk i ucunda elastik moment kapasitesi aşılmaktadır. Bu durumda elastik bölgenin ötesine geçildiği ama tam plastikleşmenin gerçekleşmediği elastoplastik durumu Tablo 8'de verilmiştir. Bu durum $M_y \leq M \leq M_p$ 'dir. Ardışık analizler sonucu Şekil 20'de verilen grafikte SOMEPE ve SOEP i ve j uçlarının ankastrel momentleri son ardışık yük çarpanı artımı durumunda Tablo 8'de görüldüğü gibi tam plastik kesit durum olduğu görülmektedir. Yani $M = M_p$ 'dir. Tablo 8 de verilen ilk yük çarpanı için ankastrel momentler Şekil 17'deki değerleri alır. Şekil 18'de ise, ardışık hesaplamalar sonucunda elde edilen yük çarpanı için ankastrel momentleri hesaplanmıştır. Çelik çerçevenin SOEP ve SOMEPE analiz metodundan göçme yük çarpanı ve ankastrel moment değerleri, başlangıç ankastrel momentleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca Şekil 20'deki değerler ile karşılaştırma sonuçları verilmiştir. Ankastrel momentlerinin plastik kesit oranlarının değişimi yüzde olarak Şekil 20'de gösterilmiştir.



Şekil 20. Yayılı Yük İçin 2 Nolu Çubuğun SOMEPE Ve SOEP (A) Ankastrel Momentleri Ve (B) Yüzdese Değişimi (SOMEPE And SOEP (A) Fix End Moments And (B) Percentage Changing Uniformly Distributed Load For The Element No. 2)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, yüklü çerçeve sistemlerin yüklerinin artımı esnasında çubuk uçlarında oluşan plastikleşmenin, kesit plastikleşme oranına göre ankastrel momentlerine etkisi incelenmiştir. Plastikleşme oranı tam plastik kesitin yüzdesi olarak ifade edilerek ankastrel moment ifadesinde kullanılmıştır. Bu oran, bir kesit için tam plastik ve tam elastik arası durumları gösteren sıfır ile bir arasında bir değerdir. Böylece kesit plastikleşme oranına bağlı olarak elde edilen Denklemler (12), (13), (17) ve (18)'de görüldüğü üzere kesitte oluşan plastik deformasyonların ankastre uç momentlerine etkisi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada önerilen SOMEPE ve SOEP hesap metodunun sonuçları, SAP2000'de elde edilen analiz sonuçlarıyla kıyaslanarak güvenilir olduğu görülmektedir. Tekil yük ve yayılı yüklü için iki çerçeve sistem üzerinde çalışılmıştır. Sistemlerin mevcut yükler altında analizi yapılmıştır. Daha sonra yatay yükleri göçme mekanizması oluşuncaya kadar arttırılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafiklerle ve tablolarla ifade edilmiştir. Daha önce çalışılan SOMEPE ve SOEP bilgisayar programına kesit plastikleşme oranına göre ankastrel momentler veren yeni bağıntılar eklenmiştir. Benzer çalışmalar diğer çubuk yükleme durumları için yükleme durumlarına yönelik yeni bağıntılar elde edilerek yapılabilir. Elastik ötesi durumu ifade eden plastik bölge ve sonrası olan pekleşme bölgesi için de incelenebilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde değerli katkılarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hatip TOK'a en derin saygılarımı sunarım.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

Açıksarı, H.F., 2019. Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Doğrusal Olmayan Analizinde Ankastre Momentlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

- American Institute of Steel Construction, Inc. (AISC) (1999), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings Supplement No. Chicago, IL.
- Aysal SE., 1992. Kapalı dikdörtgen çelik çerçevelerin elastik-plastik analizi. Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çakıroğlu, A., 1980. Özer, E., Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.
- Daryan, A.S., Palizi, S., 2020. New plastic analysis procedure for collapse prediction of braced frames by means of genetical go-rithm, Journal of Structural Engineering (United States), 146(1), 1-14. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0002462](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002462).
- Doan-Ngoc, T., N., Dang, X.L., Chuc, Q. T., Balling, R. J., Ngo-Huu, C., 2016. Second-order Plastic-hinge Analysis of Planar Steel Frames Using Corotational Beam-column Element, Journal of Constructional Steel Research, 121, 413-426. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.03.016>.
- Hodge, P.G., 1959. Plastic Analysis of Structures, McGraw-Hill series in engineering sciences, New York.
- İrtem, E., 1991. Uzun çubuk sistemlerde ikinci mertebe limit yükün hesabı için bir yük artımı yöntemi. Doktora Tezi, G.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul.
- Kanchanalai, T., 1977. "The design and behavior of beam-columns in unbraced steel frames." AISI Project No. 189, Report No. 2, Civil Engineering/Structures Research Lab., University of Texas at Austin, pp. 300.
- Liapunov, S., 1974. Ultimate strength of multistory steel rigid frames. J. Struct. Div., 100, (8) , pp.1643.
- Moy, SSJ., 1996. Plastic Methods for Steel and Concrete Structures, Ed. 2, MACMILLAN, London.
- Özer, E., 1980. Çakıroğlu A., Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler I. Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- Özer, E., 2004. "Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi", Ders Notları, sayfalar 1-238, <https://dokumen.tips/documents/yapi-sistemlerinin-dogrusal-olmayan-analizi>.
- Özer, E., 2004. "Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları", www.ins.itu.edu.tr/eozer, İstanbul.
- Parikh, B.P., 1966. The elastic-plastic analysis and design of unbraced multistory steel frames, PhD. Dissertation, Lehigh University, pp.53-63.
- Tok, H., 2000. Evaluation of Collapse Loads and Mechanisms of Multistory Structures By Nonlinear Analysis Methods. Doctoral Thesis, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Tok, H., 2002. Elastoplastik Malzemeli Taşıyıcı Sistemlerde Yük Artımı Oranlarının Göçme Yüküne ve Sistem Davranışına Etkileri. 4. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, sayfa 491-500, Balıkesir, Türkiye, 11-12-13 Eylül.
- Uslu, F. 2016. İki Boyutlu Çerçevelerin Plastik Analizinde Eksenel Kuvvetlerin Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Uslu, F., Bayer, M.T., Saraçoğlu, M.H., 2021. New Elastoplastic Analysis of Two-Dimensional Frames When Some Plastic Hinges Unload Elastically, Int J Steel Struct 21, 525-538. <https://doi.org/10.1007/s13296-021-00453-6>.
- Üçerler, C., 1995. Özet Çok Katlı Çelik Çerçevelerin H. Mertebe Limit Yüklerinin Hesabı. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Wood, R.H., 1958. The stability of Tall Buildings, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, pp. 11-69. <https://doi.org/10.1680/iicep.1958.2424>.
- Yılmaz, M., 2003. Elasto-Plastik Çerçeve Sistemlerin Dinamik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yurtsever, M., 2005. Çelik Çerçevelerin Eurocode 3'e Göre Boyutlandırılmasında Kullanılan Plastik Hesap Yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



NANOTEKNOLOJİNİN YENİLEBİLİR FİMLERE UYGULANMASI

Kadriye ŞEN, Kadir Gürbüz GÜNER*

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye

Anahtar Kelimeler Öz

*Yenilebilir Film,
Nanoteknoloji,
Nanomateriyal.*

Nanoteknoloji, yenilebilir filmlere spesifik işlevsellik kazandırması nedeniyle son yıllarda oldukça ilgi çekmektedir. Yenilebilir filmlerde sağladıkları antimikrobiyal etkilerin yanı sıra; termal, mekanik ve gaz geçirgenliği gibi fiziksel özellikleri de geliştirmek amacıyla kullanılan nanoparçacıklar, birçok çalışmanın konusu olmuştur. Yenilebilir filmlerin üretiminde nanoteknolojik yöntemlerin kullanımı kapsamında; nanoemülsiyonlar, nanokapsüller, nanolaminatlar, nanoteller ve polimer nanokompozitler gibi farklı yaklaşımlar uygulanabilmektedir. Nanoteknoloji kullanılarak üretilen yenilebilir filmler; biyolojik olarak parçalanabilme ve çevre dostu olma özelliklerinden dolayı, geleneksel plastik bazlı gıda ambalajlarına kıyasla, ekolojik bir avantaj da sağlamaktadır. Nanoteknoloji kullanılarak geliştirilmiş yenilebilir filmler, gıda endüstrisinde pek çok avantajı beraberinde getiren yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu yeni teknolojinin gıda sanayinde daha yaygın şekilde kullanılabilmesi için büyük ölçekli üretim yöntemlerine adapte edilmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Bununla birlikte, kullanılan nanomateriyallerin toksisitesi ve gıda güvenliği ile ilgili sorunlar yaratma potansiyelleri de ihmal edilmemeli ve detaylı olarak incelenmelidir. Bu derlemede, son yıllarda nanoteknolojinin yenilebilir filmlerde kullanımı hakkında detaylı bir araştırma yapılarak bu yeni teknolojinin avantaj ve dezavantajlarının yanı sıra gıdalardaki etkileri de özetlenmiştir.

APPLYING OF NANOTECHNOLOGY TO EDIBLE FILMS

Keywords

*Edible Films,
Nanotechnology,
Nanomaterials.*

Abstract

In recent years, nanotechnological applications on edible films have a lot of interest since they bring specific and functional properties to the products in which they are used. Many studies have been conducted on nanoparticles, which are used to improve physical properties such as thermal, mechanical, and gas permeability, as well as the antimicrobial effects they provide in edible films. Within the scope of the use of nanotechnological methods for the production of edible films; different approaches can be applied such as nanoemulsions, nanocapsules, nanolaminates, nanowires and polymer nanocomposites. Edible films are produced using nanotechnology; due to their biodegradability and eco-friendly properties, also ensure an environmental advantage compared to traditional plastic-based food packaging. Edible films developed using nanotechnology is an innovative approach that has numerous advantages in the food industry. In order for this novel technology to be used more widely in the food industry, large-scale production solutions need to be adapted. Nevertheless, the toxicity of the nanomaterials used and their potential to cause food safety problems should not be neglected and should be thoroughly examined. In this review, a detailed examination of the use of nanotechnology in edible films in recent years has been conducted, and the advantages and disadvantages of this new technology as well as its effects on food systems have been summarized.

Alıntı / Cite

Şen, K, Güner, K. G., (2023). Nanoteknolojinin Yenilebilir Filmlere Uygulanması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 411-425.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

K. Şen, 0000-0002-9946-917X
K. G. Güner, 0000-0002-6676-560X

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	30.05.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	11.11.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	14.11.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: kguner@nku.edu.tr , +90-282-250-2167

APPLYING OF NANOTECHNOLOGY TO EDIBLE FILMS

Kadriye SEN, Kadir Gürbüz GÜNER†

Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering, Tekirdağ, Turkey

Highlights

- The use of nanotechnology to produce edible biofilm represents a novel approach.
 - Nanotechnology can enhance the properties of edible biofilms, making them more resistant to moisture, oxygen, and microbial growth.
 - Edible films, made with nanotechnology, also have biodegradability and eco-friendly properties
 - Although nanotechnology has many advantages, a thorough examination of potential toxicity and food safety risks is necessary.
-

Purpose and Scope

The purpose of this review article is to provide a comprehensive overview of the applications of nanotechnology in the production of edible biofilms, as well as their advantages and disadvantages. The scope of this review encompasses various types of edible biofilms and nanotechnological methods utilized for their production, including their physical and chemical properties, potential applications, and the challenges associated with their implementation. By exploring the latest developments in this field, this review aims to provide valuable insights into the potential benefits of using nanotechnology for the production of edible biofilms, as well as the potential risks and limitations that need to be addressed. Ultimately, this review seeks to contribute to the growing body of knowledge on the applications of nanotechnology in the food industry and to identify areas for further research and development.

Design/methodology/approach

This review article utilizes a systematic approach to gather relevant information on the applications of nanotechnology in the production of edible biofilms. The articles included in this review were selected based on their relevance to the topic, and their quality and reliability are evaluated using established criteria. The data collected from these sources were synthesized and analyzed to provide an overview of the current state-of-the-art of nanotechnology in the production of edible biofilms and to identify the key factors that influence their properties and potential applications. Through this rigorous methodology, this review aims to provide a comprehensive and reliable assessment of the current state-of-the-art of nanotechnology in the production of edible biofilms, as well as their advantages and limitations.

Findings

Numerous investigations have established that edible films produced via nanotechnology exhibit favorable properties, such as notable antibacterial and antioxidant activity, efficient ultraviolet-light blocking capabilities, appropriate moisture and gas obstruction, and carrier functionality for aroma and flavor constituents. Due to the sophisticated architecture of nanomaterials and their potential advantages in the realm of food production, the implementation of nanotechnology-derived comestibles into the food industry presents a promising avenue for addressing current issues and fostering long-term economic advantages.

Originality

The present review article represents a significant contribution to the scientific literature, as it provides a thorough and up-to-date analysis of the various applications of nanotechnology in the production of edible biofilms, along with their advantages and disadvantages. Notably, the review article has taken into account the most recent research articles published in this field, and has integrated their findings into a comprehensive and cohesive framework. Overall, this original review article are expected to advance the state-of-the-art in this novel and rapidly evolving field.

†İlgili yazar / Corresponding author: kguner@nku.edu.tr , +90-282-250-2167

1. Giriş (Introduction)

Yenilebilir film materyallerinin yeni kaynakları ve uygulama teknikleri; gelecek vaat eden potansiyelleri nedeniyle, yenilikçi gıda paketlenme sistemleri alanında oldukça ilgi çekmektedir (Galus vd., 2020). Yenilebilir filmlerde kullanılan materyaller açısından nanoteknoloji (NT) kapsamında yapılan uygulamalar, bu alandaki en yenilikçi yaklaşımlardandır. Yenilebilir filmlerde NT uygulamaları; yenilebilir filmlere spesifik işlevsellik kazandırmak için, filmlere nanomateryalin (NM) ince bir film oluşturacak şekilde ilave edilerek, nano boyutta üretilmesini kapsar (Mkandawire ve Aryee, 2018). Parçacık boyutunu nanometrik ölçeğe düşürmek; daha büyük parçacık birimlerinden oluşan sistemlere kıyasla, materyallere farklı ve gelişmiş özellikler kazandırır (Zambrano-Zaragoza vd., 2018). Genel olarak NM'in avantajı; çeşitli mekanik, kimyasal, elektriksel ve manyetik özelliklere sahip malzemelerin geliştirilmesi için olanak sağlayan, içsel yüksek yüzey alanı/hacim oranlarında yatmaktadır (Whitesides, 2005). Ayrıca NM'in, matris içinde antimikrobiyal ajanların nüfuzunu arttırdığı belirtilmiştir (Hetrick vd., 2009, Fulaz vd., 2019).

T kullanılarak elde edilen yenilebilir filmler; gıda kalitesini paketlenme, taşıma işlemleri sırasında koruyabilen, gıdanın son tüketiciye kadar bozulmadan ulaşmasını sağlayabilen, daha iyi bariyer özelliklerine ve antimikrobiyal aktiviteye sahip, hafif ve en önemlisi gıda ile birlikte tüketilebilen ambalaj malzemeleridir (Jeevahan ve Chandrasekaran, 2019). NT kullanılarak antimikrobiyal özelliklere sahip yenilebilir filmlerin üretilmesi; meyve ve sebzeleri koruması ya da biyoaktif nanokapsülasyon gibi uygulama alanlarında umut verici sonuçlara işaret etmektedir (Durán ve Marcato, 2013). Bu derleme çalışmasında; NT'nin yenilebilir filmlerde kullanılması, uygulamalarda kullanılan NM çeşitleri ve bu uygulamaların avantajları ile dezavantajları hakkında güncel bilgilerin yanı sıra; son dönemde yenilebilir film üretiminde NT uygulamaları ile ilgili yapılmış çalışmaların geniş bir özeti de sunulmuştur.

2. Yenilebilir filmlerde nanoteknoloji uygulamaları (Nanotechnology applications in edible films)

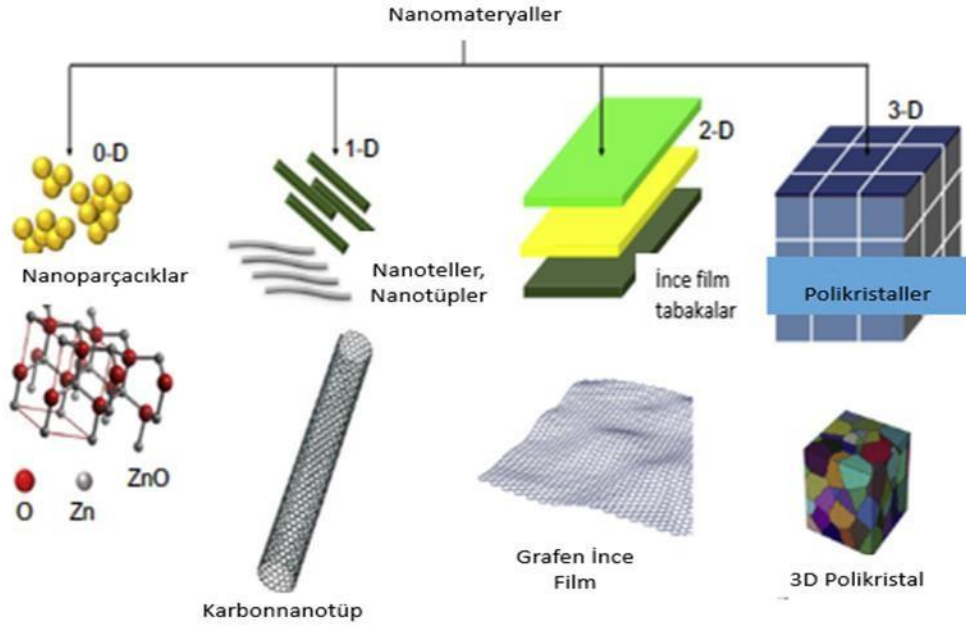
Ambalaj polimerlerine nano ölçekli killerin (nanokil) eklenmesiyle, gaz bariyeri özelliklerinin geliştirilebilmesinin keşfi, yirmi yıl önce ortaya çıkmıştır (Yin ve Tsai, 2015). Son yirmi yılda NT konusunda; tokosisite, mevzuat sorunları, müşteri şüphesi gibi sorunlar olmasına karşın; nanoselüloz, nanokil kompozitler ve katman-katman teknolojileri gibi çeşitli nanoteknolojik uygulamalarda ilgi çekici gelişmeler gerçekleşmiştir (Lindström ve Österberg, 2020). İlk olarak Iijima (1991) tarafından geliştirilen karbon nanotüpler, benzersiz mekanik ve elektriksel özelliklere sahip olmaları sebebiyle, son yıllarda polimerleri güçlendirme amacıyla kullanılmaktadırlar (Tjong, 2006; İşleyici vd., 2019). Benzer şekilde günümüzde yenilebilir nanokompozit filmlerin üretiminde, biyofilm solüyonu ve biyopolimer matrisin NM ile güçlendirilmesi hedeflenmektedir (Ribeiro vd., 2021).

Yenilebilir film üretiminde kullanılan NM'ler; bariyer malzemesi olarak kullanım amacıyla, gıdaların raf ömrünü olumsuz etkileyen karbondioksit (CO₂) veya oksijen (O₂) gibi gazların konsantrasyonunu azaltmak amacıyla, ayrıca mikroorganizmaların neden olabileceği bozulmaları önlemek için filmlere dahil edilmektedirler (Yoksan ve Chirachanchai, 2010; Joye vd., 2016). Demir oksit (FeO), gümüş oksit (Ag₂O), çinko oksit (ZnO), karbon oksitler, magnezyum oksit (MgO), titanyum dioksit (TiO₂) ve silikon dioksit (SiO₂) gibi bazı metallerin ve metaloksitlerin nanoparçacıklarının (NP) belirli koşullar altında antimikrobiyal gıda bileşenleri olarak kullanımı yaygındır (He vd., 2019; Chawla vd., 2021). Bunun yanı sıra; UV koruma aktivitesi ve oksidasyon önleme etkisi nedeniyle de gıda ambalajlarının özelliklerini iyileştirmek için filmlere eklenirler (Becerril vd., 2020; Primožič vd., 2021).

2.1. Uygulamalarda kullanılan nanomateryaller (Nanomaterials used in applications)

NM'ler farklı yapısal ve kimyasal özelliklere sahip olabilirler. Boyutsal özelliklerine göre NM'ler, Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir ve aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Pathakoti vd., 2017; Şahin, 2020).

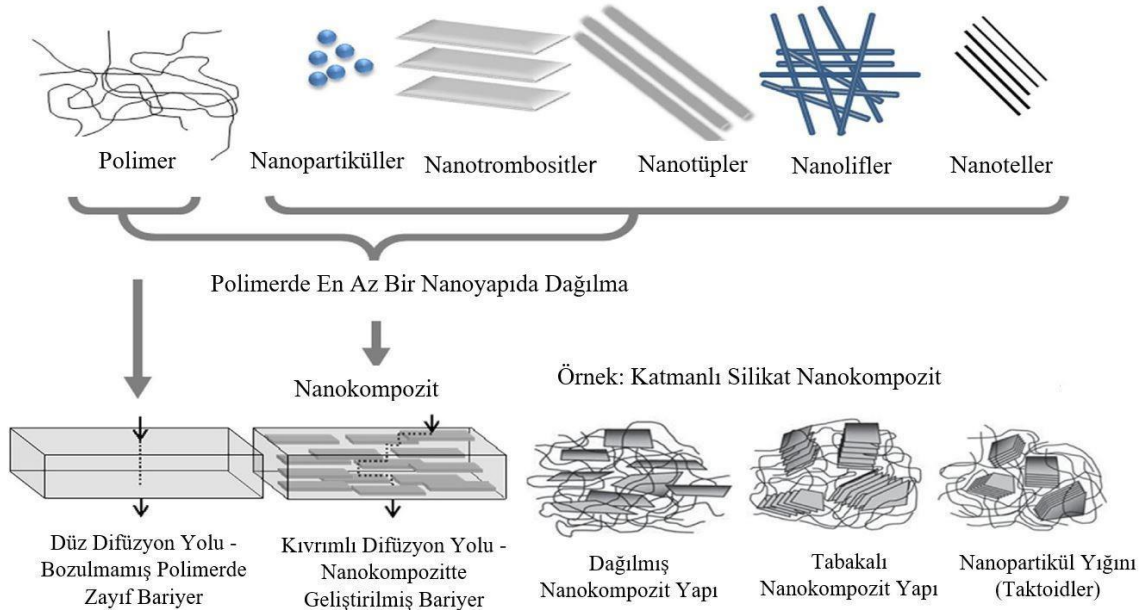
- Sıfır boyutlu (0D) NM'ler: NP'ler, kuantum noktaları, kuantum kümeleri ve fullerenerler
 - Tek boyutlu (1D) NM'ler: Nanoçubuklar, nanoteller ve nanotüpler
 - İki boyutlu (2D) NM'ler: Nanofilmler, nanoplakalar, nanolevhalar
 - Üç boyutlu (3D) NM'ler: Nanokompozitler, polikristaller ve dendrimerler
- Üretilen en yaygın NM'ler, kimyasal kompozisyonlarına göre ise aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler (Fuente-Salcido vd., 2018);
- Karbon bazlı NM'ler
 - Metal bazlı NM'ler: kuantum noktalar, nano gold, nano gümüş ve TiO₂ gibi metal oksitler
 - Dendrimerler: belirli kimyasal işlevler için dallı birimler-zincir uçlarından üretilen nano ölçekli polimerler
 - Kompozitler: diğer NP'lerle ya da büyük, yığın tipi malzemelerle birleştirilmiş NP'ler



Şekil 1. Sıfır boyutlu (0D), bir boyutlu (1D), iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) NM'in şematik gösterimi (Schematic representation of zero-dimensional (0D), one-dimensional (1D), two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) nanomaterials) (Malhotra ve Ali, 2018).

Nanoemülsiyonlar, nanokapsüller, nanolaminatlar, nanoteller ve polimer nanokompozitler; NT'nin yenilebilir film üretiminde kullanım şekillerindedir. Nanolaminatların işlevsel bileşenleri için malzemeler; lipitler ve killer (nem bariyerleri), karbonhidratlar gibi biyopolimerler (gaz bariyeri) veya NP'ler ve emülsiyonlaştırılmış nanodamlacıkları (tat, doku veya görünüm geliştiriciler) içermektedir (Mkandawire ve Aryee, 2018). Nanoemülsiyonlar, 50 nm ile 100 nm arasında değişen damlacık boyutuna sahip kolloidal dispersiyonlardır (Pathakoti vd., 2017). Gıda ürünlerinin oksidasyonunu ve ayrışmasını önlemek için, biyolojik olarak aktif farklı moleküllerin ve NP'lerin entegrasyonuna izin verirler. Ayrıca fenolik nanoemülsiyonlar bazı gıdaların, özellikle de yağlı gıdaların bozulmasına ve parçalanmasına karşı koruma kabiliyetine sahiptirler (Bohlooli ve Eskandari, 2021). Aromalı yağlar, salata sosları, tatlandırıcılar gibi gıdaları üretmek için kullanılırlar. Ürünün görünümünden ve lezzetinden ödün vermeden, ekipmanın dekontaminasyonu ve yüksek berraklıkta bir görünüm gibi birçok avantajı sunarlar (Pathakoti vd., 2017).

Nanokompozitler, yenilebilir film üretiminde en sık kullanılan NM'lere aittir. Fazlardan birinin; en az bir, iki veya üç boyutta 100 nm'den küçük olduğu, nanodolgu maddeleriyle güçlendirilmiş polimer matrisleridir (Bastarrachea vd., 2011; Pathakoti vd., 2017). TiO_2 , FeO, SiO_2 , karbon oksitler, MgO, ZnO, bakır (Cu), bakıroksit (CuO) ve gümüş (Ag) bazlı nanodolgu maddeleri, antimikrobiyal özelliklerinden dolayı nanokompozit üretiminde kullanılmaktadır (Lee, 2010; Pathakoti vd., 2017). Kitosan NP'leri; genellikle filmlerin polimer işlenebilirliğini geliştirmek ve ayrıca çözünürlük, antimikrobiyal aktivite gibi bazı özelliklerini değiştirmek için kullanılmaktadırlar (Anitha vd., 2009; Divya vd., 2018). SiO_2 NP'leri; farklı tipteki polimer ortamların mekanik özelliklerine, engel teknolojisi aracılığıyla katkıda bulunmaktadırlar (Sharma vd., 2017; Wahab vd., 2021). Nanokil; bariyer özelliklerini, yapıyı iyileştirebildiği ve biyopolimerin mekanik mukavemetini çok düşük kil içeriğiyle sağladığı için, biyobazlı polimer takviyelerinin temel dolgu maddesi olarak kabul edilir (Bhuyan vd., 2010; Mallakpour ve Dinari, 2012; Chaudhary vd., 2020). Polisakkarit filmlerin termal, mekanik ve gaz bariyer özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan NM'ler; ZnO, TiO_2 ve Ag NP'ler, montmorillonit (MMT), kaolinit gibi katmanlı silikat nanokillerdir (Youssef ve El-Sayed, 2018). En yaygın kullanılan nanokil malzemelerinden olan montmorillonit; gaz bariyer özelliklerini geliştirmek için polimerlere dahil edilir. Şekil 2'de ifade edildiği gibi, nanokompozitlerin hazırlanması; NP'ler ve polimer arasındaki uygun etkileşim sonucu oluşan malzeme işlevselliğini geliştirmek için NP'lerin polimer matrislerine dahil edilmesiyle gerçekleşir (Condés vd., 2016).



ekil 2. Nanokompozitlerin hazırlanması ve bariyer özelliklerinin iyileştirilmesi için genel prosedürün şematik gösterimi (Schematic representation of the general procedure for preparing nanocomposites and improving barrier properties) (Mihindukulasuriya ve Lim, 2014).

Kumar vd., (2020); nanokompozit filmler / kaplamalar için üretim tekniklerini şu şekilde sınıflandırmıştır:

- Solüsyon dökme yöntemi: Kolaylığından dolayı kitosan bazlı filmler ve kaplamaları laboratuvar ölçeğinde hazırlamak için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Solüsyon dökme yöntemi basit ve düşük maliyetli bir yöntem olmasına rağmen bu yöntemle film oluşturma prosesinin endüstriyel üretime adaptasyonu çeşitli zorluklar doğurabilme potansiyeline sahip olduğu için daha fazla geliştirilmesi gerekmektedir.
- Katman katman birleştirme yöntemi (LBL): Farklı polimerlerin fonksiyonel özelliklerini birleştirebilen, nanokompozit film imalatında materyal özellikleri ve işlevselliğini etkin bir şekilde kontrol etmek için keşfedilen çok yönlü bir tekniktir. Herhangi bir sofistike enstrümana ihtiyaç duymayan çok bileşenli filmlerin imalatı için kullanılan bir yöntemdir. Katman-katman birleştirme yönteminde esas olarak yüzey modifikasyonu; zıt yüklerle sahip alternatif polielektrolitlerin katı destek üzerinde karşılıklı çekimleri neticesinde birikmesi ile oluşur. Yüksek ölçekli kaplama proseslerinde kullanılabilir bir yöntemdir.
- Ekstrüzyon yöntemi: Esas olarak geleneksel ticari plastik ambalaj filmlerinin üretiminde kullanılır. Ekstrüzyon, daha hızlı işlem süresi ve daha düşük enerji tüketimi nedeniyle solüsyon döküm yöntemlerine göre sık tercih edilir. Ekstrüzyon işlemi genellikle iyi bir termal stabiliteye ve kabul edilebilir mekanik özelliklere sahip filmler elde edilmesini sağlar.
- Kaplama / Püskürtme yöntemi: Kaplama işlemi genellikle; meyve ve sebzeler, balık, et gibi taze gıdaların raf ömrünü arttırmak için bu gıdaların yüzeyine uygulanır. Bu yöntem; film çözeltilerine gıda materyallerinin daldırılması, boyama, dökme, püskürtme metotlarıyla uygulanabilmektedir. Kaplama; gıdanın geliştirilmiş kompozit çözeltilere birkaç dakika süreyle daldırılması, ardından fazla çözeltinin drenajı ve sonrasında da sıcaklık ve nem kontrollü şartlarda kurutulmasıyla yapılır. Daldırma ve püskürtme teknikleri; basit, nispeten ucuz ve birçok gıda işleme hattında yaygın olarak uygulanabilir olmasına rağmen; bu tür işlemler, işlenmiş gıdaların duyuusal özelliklerini tehlikeye atabilir. Bu nedenle; daldırma/püskürtme yöntemleri tercih edilmeden önce, gıdanın duyuusal profiline olan uygunluğunun göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

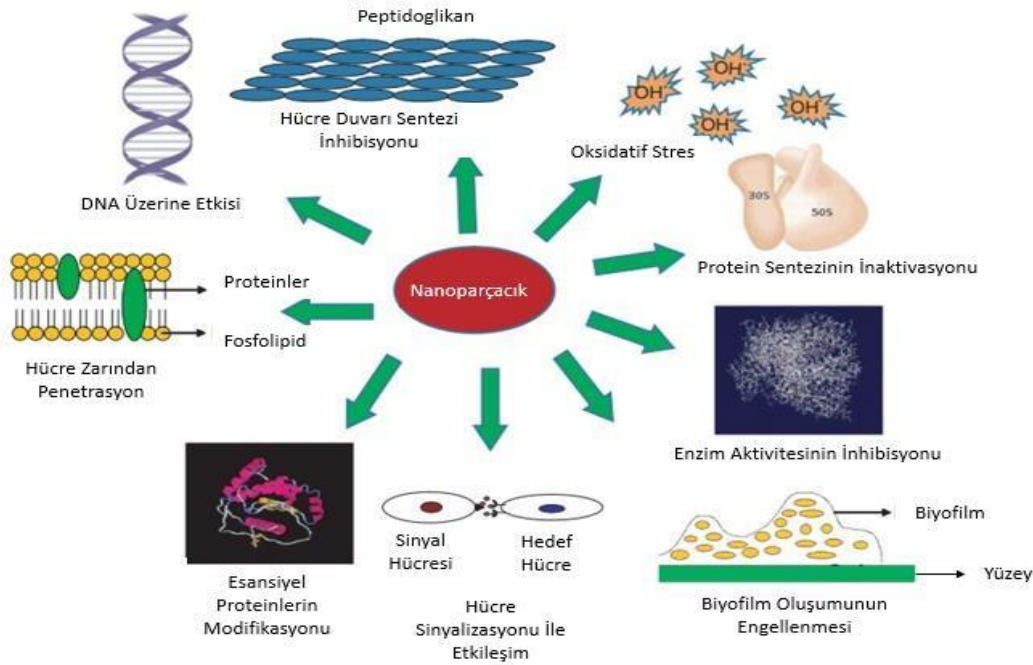
3. Yenilebilir filmlerde nanoteknoloji uygulamalarının avantajları (Advantages of nanotechnology applications in edible films)

Yenilebilir filmlere eklenen nanokompozit materyaller; geleneksel kompozitlere kıyasla daha yüksek nitelikte termal, mekanik ve biyolojik özellikler sağlarlar (Ananda vd., 2017). Nanoboyutta malzemeler ile yenilebilir filmlerin; gazlar, bazı uçucu bileşenler ve neme karşı bariyer özellikleri, UV koruması, ısıl direnç, mekanik mukavemet ve sızdırmazlık gibi çeşitli özellikleri gelişmektedir (Dholariya vd., 2021). Yapılan çeşitli çalışmalarda da nanoteknoloji uygulamaları kullanılarak üretilen yenilebilir filmlerin, su buharı

geçirgenliği,

optik özellikler, mekanik direnç, uzama mukavemeti gibi özellikler açısından daha iyi niteliklere sahip oldukları ve daha yüksek antibakteriyel, antifungal ve antioksidan aktivite gösterdikleri tespit edilmiştir. Son yıllarda bu konuda oldukça fazla çalışma yapılmış olup bu çalışmaların bazıları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Yenilebilir filmlerde nanoboyuttaki antimikrobiyal bileşenlerin yüzey temas alanlarının fazla ve reaktivitesinin de yüksek olması, mikro veya makro ölçekli antimikrobiyal bileşenlere göre mikroorganizmalara daha etkin bir şekilde inaktivasyon sağlamaktadır (Radusin vd., 2016; Çelebi Sezer ve Bozkurt, 2021). Farklı NP'lerin antimikrobiyal aktivitesiyle ilgili çeşitli teoriler ve açıklamalar ileri sürülmüştür (Şekil 3) (Singh vd., 2014). Antimikrobiyal etkideki farklılıklar; NP'lerin boyutu, şekli, konsantrasyonu, berraklığı ve yüzey kimyasının yanı sıra; serbest biyosidal metal iyonlarını boşaltma kapasiteleriyle ilişkilidir (Xing vd., 2019). Metal bazlı NP'lerin mikro boyutlu muadillerine göre çok daha iyi antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir (Colon vd., 2006; Jones vd., 2008; Ramasamy ve Lee, 2016). NP'lerin antimikrobiyal mekanizmalarından biri; bakteri hücre duvarına tutunma ve daha sonra ona nüfuz etme kabiliyeti nedeniyle, hücre zarında hücre ölümüne yol açan yapısal değişikliklere neden olmasıdır (Sondi ve Salopek-Sondi, 2004; Singh vd., 2014). Başka bir mekanizma ise; NP'ler tarafından, hücre zarını gözenekli hale getirerek ve hücre zarında hasara yol açarak hücre ölümüne sebep olan, serbest radikallerin üretilmesidir. NP'lerin bakterilerin sinyal iletimini de değiştirdiği bilinmektedir (Singh vd., 2014).



Şekil 3: Nanoparçacıkların antimikrobiyal aktivite mekanizmaları (Mechanisms of antimicrobial activity of nanoparticles) (Singh vd., 2014).

Nanoboyutta malzemelerin kullanımı; gıda kaynaklı patojenlerin tespitinde ve toksinlerin algılanmasında iyileşmeyi sağlamakta, aynı zamanda çoğu muadillerine kıyasla vücuttaki besin ve takviyelerin emilimini ve biyoyararlanımını arttırmakta (Lamabam ve Thangjam, 2018), plastik materyallerle üretilmiş geleneksel muadillerine kıyasla ekolojik bir avantaj da sağlamaktadır (Chawla vd., 2021). Örneğin; kitosan NP'leri toksik olmaması ve biyolojik olarak parçalanabilirliği nedeniyle meyve ve sebzelerin muhafazasında kullanılan önemli bir NM'dir. Kitosan NP'leri ile yapılan çeşitli çalışmalarda; çilek, papaya, hıyar, havuç, elma, turunçgil, kivi, şeftali, armut, çilek ve kiraz gibi birçok meyvenin raf ömrünü uzatma ve çürümesini kontrol etme potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir (Ben-Shalom vd., 2003; Divya vd., 2018).

Kil NP'leri içeren biyopolimerler biyolojik olarak parçalanabilme ve çevre dostu olma özelliklerinden dolayı, geleneksel plastik bazlı gıda ambalajlarına uygun bir alternatif olarak kabul edilmektedirler. Mekanik özellikleri güçlendirmenin yanı sıra; paketlemede oksijen penetrasyonunu sınırlayarak ve karbondioksit sızıntısını önleyerek, gaz değişiminde kontrol edici bir rol oynar ve ürünün raf ömrünü uzatırlar (Han vd., 2011, Bohlooli veEskandari, 2021).

Nano TiO₂ partikülleri ambalajdan gıdaya geçerek gıdaya koruma sağlarlar, folyoların geçirgenliğini kontrol ederler, UV ışığını bloke ederler bununla birlikte bakteri ve küflere karşı da etkilidirler (Dholariya vd., 2021).

Farklı meyve ve sebzelerde (limon, elma ve domates), *Penicillium expansum* bozunmaya neden olmuştur; TiO₂'in fotokatalitik özelliklerinden dolayı, bu mikroorganizmaya karşı TiO₂ kaplı filmlerin kullanılması, çoğalmayı engellemiştir (Maneerat ve Hayata, 2006; Wahab vd., 2021). TiO₂'nin fotokatalitik davranışı, antimikrobiyal özelliklerini etkinleştirmekten sorumlu olan UV ışığının yanı sıra büyük ölçüde görünür ışık ışınlamasına da dayanmaktadır (Cano vd., 2017; Yemmireddy ve Hung, 2015; Li vd., 2009; Xing vd., 2019). Bitki dokuları, mantarlar ve bakteriler gibi çeşitli biyolojik ajanlar kullanılarak biyosentez yoluyla üretilen altın NP'lerin gram pozitif ve gram negatif patojenik bakteriler üstünde yüksek antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu ortaya konmuştur (Das vd., 2009; Shakeel vd., 2016; İşleyici vd., 2019).

Ag NP'lerin, çeşitli patojen bakterilere ve kommensal suşlara karşı antibakteriyel aktiviteleri bilinmektedir (Kumar ve Munstedt, 2005). Antibakteriyel Ag NP'lerin etkisi; bu NP'lerin bakteriyel enzimler, DNA ve proteinlerle interaksiyona girmesinden kaynaklanır. Bu da mikroorganizmaların metabolizmasının bozulmasına neden olur (Cavaliere vd., 2015; Wahab vd., 2021). Ag NP'ler çeşitli gıda patojenleri için toksiktir. Çünkü Ag NP'ler hücre yüzeyine tutunma yoluyla, lipopolisakariti parçalayarak hücre zarı geçirgenliğini arttırmaktadır (Sondi ve Salapek-Sondi, 2004). Bu şekilde Ag NP'ler bakteri hücrelerine nüfuz edebilmekte, DNA'sına zarar verebilmektedir (Li vd., 2004) ve antimikrobiyal Ag iyonlarını serbest bırakmaktadır (Morones vd., 2005). Moleküllerdeki kükürt, oksijen veya nitrojen içeren elektron donör gruplarına bağlanmakta ve böylece adenozintrifosfat (ATP) sentezini ve DNA replikasyonunu inhibe etmekte ve sonunda hücrenin ölmesine yol açmaktadır (Bajpai vd., 2018). Ag NP'lerin elektrokatalitik aktivitesi, aktif bir gıda ambalajı bileşeni olarak yenilebilir polimerlere dahil edilerek kapsamlı uygulamalar için mükemmel antimikrobiyal özellik sağlayabilmektedir (Li vd., 2009; Davoodbasha vd., 2016).

ZnO; antibakteriyel etkileri, yüksek stabilitesi ve fotokatalitik aktivitesi nedeniyle ambalaj malzemesi özelliklerini iyileştirmede kullanılan en önemli NP'lerden biridir (Li vd., 2005; İşleyici vd., 2019). ZnO NP'ler yenilebilir filmlerde antimikrobiyal aktivite ile birlikte geçirgenlik bariyeri görevi görebilmektedir Shahabi-Ghahfarrokhi vd., 2015; Li vd., 2009; Xing vd., 2019). ZnO NP'ler geniş spektrumlu bakteri türlerinin çoğalmasına karşı güçlü bir inhibisyon göstermektedirler (Azam vd., 2012). ZnO nanoyapılarının *Escherichia coli* ve *Bacillus atrophaeus*'a karşı diğer metal oksitlerden daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir (Shi vd., 2014; Chaudhary vd., 2020). %5'e kadar silikon oksit NP'lerinden oluşan nanokompozitlerin, fiziksel ve mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileşmektedir (Salami-Kalajahi vd., 2012). Silikon oksit NP'ler, gazların uzaklaşması için bir çıkış alanı oluşturmak amacıyla gıda ambalaj malzemelerinde dolgu maddeleri olarak kullanılır (Farhoodi, 2016; Wahab vd., 2021).

Tablo 1. Nanoteknoloji kullanılarak üretilen yenilebilir filmler üzerine yapılan çeşitli çalışmalar (Various studies on edible films produced using nanotechnology)

Kullanılan nanomateryal	Film hazırlama yöntemi	Uygulanan gıda	Bulgular	Referans
Kitosan/zein nanoselüloz	Solüsyon dökme yöntemi	Mango	Nanokompozit filmin; mangonun 25 °C'de depolanması sırasında sararmayı geciktirdiği solunum hızını kontrol altına aldığı, ağırlık kaybı ve C vitamini kaybını önleme özelliklerine sahip olduğu belirtilmiştir.	(Xiao vd., 2021)
Nano SiO₂ ve nano TiO₂	Kaplama yöntemi	Yaban mersini	Nano TiO ₂ içeren filmlerin ağırlık kaybı ve titrasyon asitliği açısından en uygun filmler olduğu, nano SiO ₂ içeren filmlerin mezofilik aerobik mikroorganizmaların, maya ve küflerin gelişimini minimize ettiği tespit edilmiştir.	(Li vd., 2021)
Nano SiO₂	Kaplama yöntemi	Kavun	NM içeren filmlerin; taze kesilmiş kavunlarda mikrobiyolojik kaliteyi arttırdığı, rengi, C vitaminini koruduğu, peroksidaz aktivitesine etkili olduğu tespit edilmiştir.	(Sami vd., 2021)
Nanolipozom ve nanokitosan	Kaplama yöntemi	Sardalya filetosu	NM'nin düşük pH ve peroksit değerleri sağladığı, duyuşal özellikleri iyileştirdiği, antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri arttırdığı tespit edilmiştir.	(Homayonpour vd., 2021)

Sodyum MMT kil	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro çalışma	Sarımsak içeren nişasta nanofilmler; mekanik stabilite, esneklik ile <i>Salmonella</i> ve <i>Staphylococcus aureus</i> bakterilerine karşı antibakteriyel direnç göstermiştir. Kurkumin ve oktafenil-POSS içeren filmler ise bir inhibisyon bölgesi oluşturmamıştır. Kurkumin ve oktafenil-POSS içeren nanofilmler yüzey aktivitesi gösterirken, sarımsak içeren nanofilmler yüzey aktivitesi göstermemiştir.	(Baysal ve Doğan, 2020)
Nanoselüloz	Solüsyon dökme yöntemi	Kestane	Nanokompozit filmin güçlü su tutma, yüksek mekanik özellikler ve bakteriyostatik etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Nanokompozit filmlerin, <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> ve Çin kestanesi fungusunun gelişmelerini engellediği ve fungusun misel yapısını yok ettiği tespit edilmiştir. Nanokompozit filmlerin kestanelerin 25 °C'de 16 günlük depolanması sırasında ağırlık kaybını, küf oranını ve kireçlenme indeksini etkili bir şekilde azalttığı tespit edilmiştir.	(Huang vd., 2020)
Nişasta NP'ler /κ-karragenan	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro çalışma ve yoğurt	Saf nişasta bazlı filmler, mumlu mısır nişastası NP'leri/κ- karragenan ve salisilik asit ile birleştirilmiş nişasta bazlı kompozit filmler ile karşılaştırıldığında; gerilme direnci, su buharı bariyeri ve termal stabilite özelliklerinin önemli ölçüde arttığı, şeffaflık ve kopma esnekliğinin hafif bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Nano kompozit filmlerin gıdalarda arzu edilmeyen üç mikroorganizma tipi olan <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , ve <i>Bacillus subtilis</i> 'e karşı yüksek düzeyde bir antimikrobiyal etki gösterdiği belirlenmiştir.	(Fang vd., 2020)
TiO₂-Ag NP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro çalışma	NP'ler gram pozitif (<i>S. aureus</i>), ve gram negatif (<i>E. coli</i>) bakterilere karşı antimikrobiyal aktivite göstermiştir. Jelatinin filmlerin elastikiyetini arttırdığı, TiO ₂ -Ag eklemenin, karboksimetil selüloz filmlerin uzama ve genişleme özelliğini arttırdığı tespit edilmiştir. Kolorometrik sonuçlara göre jelatinin filmlerin şeffaflığını arttırdığı, TiO ₂ -Ag'nin şeffaflığı azalttığı, TiO ₂ -Ag NP'leri arttıkça beyazlığın arttığı belirtilmiştir.	(Pirsa vd., 2020)
Bakır sülfür NP'ler (CuSNP)	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro çalışma	Alginat bazlı filmlere ağırlıkça %0.5 CuSNP ilavesinin, UV bariyerini, hidrofobikliği, mekanik mukavemeti ve su buharı bariyeri özelliklerini iyileştirdiği ancak termal stabiliteyi önemli ölçüde etkilemediği tespit edilmiştir. Alginat/CuSNP nanokompozit filmin gram negatif bakteri olan <i>E. coli</i> 'ye karşı antimikrobiyal etki gösterdiği fakat gram pozitif bakteri olan <i>Listeria monocytogenes</i> 'in gelişme hızına etkisinin düşük olduğu belirtilmiştir.	(Roy ve Rhim, 2020)
ZnO ve kaolin nanokil	Solüsyon dökme yöntemi	Mozarella peyniri	İrmik unu filmlerine kıyasla nanokompozit filmlerin; ZnO ve kaolin nanokil oranı arttıkça mekanik dayanımının önemli ölçüde arttığı (%21-65 artış) ve su buharı bariyeri ile O ₂ gaz bariyeri özelliklerinin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Nanokompozit filmlerin bakterilere (<i>E. coli</i> ve <i>S. aureus</i>), mayalara (<i>Candida albicans</i>) ve küfe (<i>Aspergillus niger</i>) karşı güçlü antimikrobiyal aktivite sergilediği tespit edilmiştir.	(Jafarzaad eh vd., 2019)
Kitosan/TiO₂ NP'ler (CH/TiO₂ - NP)	Kaplama yöntemi	Kavun	Kaplanmamış örneklerle karşılaştırıldığında kitosan/nano TiO ₂ (CH/TiO ₂) ile muamele edilmiş meyvelerde askorbik asit ve meyve suyu sızıntısının önemli ölçüde korunduğu, toplam küf ve maya popülasyonu sayılarının daha düşük olduğu, polifenol oksidaz (PPO) aktivitelerinin de kontrol grubundakilerden çok daha düşük olduğu tespit edilmiştir.	(Qiao vd., 2019)

TiO₂ NP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro oçalışma	Filmlerde bulunan TiO ₂ -NP'ler seviyesi artışının, filmlerin nem içeriği, çözünürlük ve nem alımında önemli düşüşlere yol açtığı; nişasta-pektin filmlerine düşük konsantrasyonda TiO ₂ -NP' lerin eklenmesinin, mekanik ve nem bariyer özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği tespit edilmiştir.	(Dash vd., 2019)
ZnO-kitosan NP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro oçalışma	NP miktarı %3 ve altında olan filmlerde NP miktarı arttıkça su buharı geçirgenliğinin önemli ölçüde azaldığı (%51'den %43'e), gerilme direncinin arttığı (4.11' den 12.79'a) tespit edilmiştir. Nişasta bazlı filmlerin antimikrobiyal aktivitesinin NP'lerin eklenme miktarıyla pozitif ilişkili olduğu ve bu filmlerin gram pozitif bakteri olan <i>S. aureus</i> 'un gelişmesini önlemede gram negatif bakteri olan <i>E. coli</i> 'den daha etkili olduğu tespit edilmiştir.	(Hu vd., 2019)
ZnO NP'ler	Kaplama yöntemi	İn vitro oçalışma	ZnO NP'leri ve Melisa esansiyel yağı konsantrasyonunun artırılmasının, gerilme direncini arttırdığı, su çözünürlüğünü ve su buharı geçirgenliğini azalttığı tespit edilmiştir. ZnO konsantrasyonu arttıkça opaklığın arttığı, Melisa esansiyel yağı konsantrasyonu arttıkça film örneklerinin şeffaflığının arttığı belirtilmiştir. ZnO ve Melisa esansiyel yağı konsantrasyonunun artırılmasının kompozit filmlerin antibakteriyel özelliklerini artırdığı tespit edilmiştir.	(Sani vd., 2019)
ZnO NP'ler	Ekstrüzyon yöntemi	Antep fıstığı	Nano kaplama yapılan antep fıstıklarının hiçbirinde küf (<i>Aspergillus flavus</i> (PTCC 5004), <i>Aspergillus parasiticus</i> (PTCC 5286) ve <i>Aspergillus parasiticus</i> (PTCC5018)) gelişimi gözlenmezken, tüm kontrol örneklerinde küf gelişimi gözlemlenmiştir. NM'lerin yüzdesi önemli ölçüde artırıldığında, ZnO NP'lerin inhibe edici etkisinin olduğunu belirtilmiştir. %5 NP içeren polilaktik asit yenilebilir filmlerinin antioksidan ajanı olarak uygun kaplamalar olduğu tespit edilmiştir.	(Nasab vd., 2019)
ZnO NP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	Siyah Üzüm	Nanokompozit filmlerin ısıl kararlılığı ve bariyer özellikleri, filmlerin içeriğindeki NP'lerin miktarı ile doğru orantılı olarak artmıştır. Nanokompozit filmlerin biyolojik olarak parçalanabilirliği 28 günde %30 ile %50 arasında değişmiştir. %5 (w/w) ZnO NP içeren filmlerin, siyah üzümün raf ömrünü 9 güne kadar uzattığı tespit edilmiştir.	(Indumat hi vd., 2019)
AgNP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro oçalışma	AgNP'lerin kompozitlerin gerilme direncini 33.64 MPa'dan 16.12 MPa'a azalttığı, su buharı geçirgenliğini azalttığı, filmlerin rengini görünür bir şekilde etkilediği tespit edilmiştir. Nanokompozit filmlerin, temas yüzeyi bölgesinde test edilen patojen bakterilere karşı güçlü antibakteriyel aktivite gösterdiği tespit edilmiştir.	(Bahrami vd., 2019)
Nano SiO₂	Solüsyon dökme yöntemi	Kültür mantarı	NM ilavesinin filmlerin özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği, su buharı geçirgenliği, suda çözünürlük, nem emilimi ve ışık geçirgenliği özelliklerinin NM miktarıyla doğru orantılı olarak geliştiği, %0.3 oranında NM ilavesinin film için yeterli olduğu tespit edilmiştir.	(Zhang vd., 2019)

ZnO NP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	Kıyılmış balık ezmesi ve in vitro çalışmalar	Kompozit filmlerin şeffaflıkta düşük miktarda bir azalma ile yüksek UV ışık bariyeri özelliği gösterdiği; ZnO NP'lerinin eklenmesiyle filmlerin kalınlık, su buharı geçirgenliği, gerilme direnci özelliklerinin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Kompozit filmlerin, gıda kaynaklı patojen bakteriler olan <i>E. coli</i> ve <i>L. monocytogenes</i> 'e karşı güçlü antibakteriyel aktivite sergilediği tespit edilmiştir. Geliştirilen filmler kıyılmış balık ezmesine uygulandığında güçlü antibakteriyel aktivite göstermiştir.	(Shankar vd., 2018)
Nanokil	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro çalışma	%2 nanokil ilavesinin kompozit filmlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiği, su buharı geçirgenliğini düşürdüğü, kopma ve çekme direncinde en yüksek uzamayı sağladığı belirtilmiştir. <i>E. coli</i> ve <i>S. aureus</i> bakterilerinin, bu antimikrobiyal filmlerle önemli ölçüde inhibe edildiği tespit edilmiştir.	(Shekara bi ve Davachi, 2018)
MgO NP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	Dut	Kitosan (ağırlıkça %1), sitrik asit (ağırlıkça %1), gliserol (hacimce %75), MgO (ağırlıkça %10) kompozisyonlu kitosan nanokompozit filmin diğer filmlere göre daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Gama radyasyon ışınlama dozunun 10 kGy'ye kadar artırılmasıyla filmin gerilme gücünün arttığı belirtilmiştir. 2.5 kGy dozunda ışınlanmış, ortalama parçacık boyutu 54.3 nm olan MgO içeren filmin, dut meyvesinin depolama kalitesini ve raf ömrünü iyileştirmek için yeni paketleme materyali olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.	(Abdel Ghaffar vd., 2018)
ZnO NP'ler	Solüsyon dökme yöntemi	Çiğ et	Kompozit filmlerin antimikrobiyal etkisinin ZnO NP'lerin miktarıyla doğrusal olarak ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Hazırlanan C-2 keselerin, 4°C' de depolamanın altıncı gününde mikrobiyal gelişmeyi tamamen inhibe etmesi sayesinde çiğ etteki mikroorganizmalara karşı yüksek etki gösterdiği tespit edilmiştir.	(Rahman vd., 2017)
Kristalin nanoselüloz (CNC)	Döküm ve buharlaştırma yöntemi	İn vitro çalışma	%5 CNC ile nanokompozit filmde; gerilme mukavemetinin %84'e kadar arttığı, su buharı geçirgenliğinin %40 azaldığı, mekanik özellikler ve su buharı geçirgenliği özellikleri açısından optimum sonuç sağlandığı belirtilmiştir. X-ray kırınımı çalışmaları sonucunda kristallik derecesi ile CNC seviyesi arasında pozitif korelasyon olduğu tespit edilmiştir. %5 CNC ile pektin film takviyesinin, diğer hazırlanan biyofilmlere kıyasla daha yüksek etkiye sahip olduğu belirtilmiştir.	(Chaichi vd., 2017)
Kitin nanowhiskerslar (CNW)	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro çalışma	%1'e kadar CNW ile güçlendirilmiş mısır nişastası filmlerinin gerilme direncinin 1.64 MPa'dan 3.69 MPa'ya yükseldiği; CNW içeriği %2'ye çıkarıldığında 2.22×10^{-12} g/m ² ×Pa'a düştüğü tespit edilmiştir. Üretilen filmlerin gram pozitif bakteri olan <i>L. monocytogenes</i> 'e karşı antimikrobiyal etki gösterdiği ancak gram negatif bakteri olan <i>Escherichia coli</i> 'ye karşı antimikrobiyal etkisinin olmadığı belirtilmiştir.	(Qin vd., 2016)
Nanokapsül süspansiyon	Solüsyon dökme yöntemi	İn vitro çalışma	Nanokapsül süspansiyonunun filme eklenmesinin kalınlığı azalttığı, gerilme mukavemetini düşürdüğü ancak kopmada uzama yüzdesini ve hafifliği artırdığı tespit edilmiştir. Yüksek antioksidan aktivite ve <i>Ferulago angulata</i> uçucu yağının uzun süreli salınımı rapor edilmiştir.	(Esmaeili vd., 2016)

4. Yenilebilir filmlerde nanoteknoloji uygulamalarının dezavantajları (Disadvantages of nanotechnology applications in edible films)

Yenilebilir filmlerde NP'leri kullanmanın ana kriterlerinden biri bunların toksik olmamasıdır (Weiss vd., 2006). Konu ile ilgili bilimsel bulguların yetersizliği, bunların kullanımının doğuracağı sakıncalar ile ilgili herhangi bir sonuca varmada zorluklar yaratmaktadır (Mao vd., 2016; Nile vd., 2020). NP'ler, geniş yüzey alanına ve 1 ile 100 nm arasında değişen çok küçük boyutlara sahiptirler. NP'lerin bu özellikleri; toksik kimyasal kirleticileri bağlayabilen ve taşıyabilen, ayrıca kendi başlarına reaktif radikaller üreterek toksik olabilen yüzeylerin meydana gelmesine neden olabilir (Moore, 2006). 70 nm'den küçük NP'ler, hücre çekirdeğine girerek DNA replikasyonu ve transkripsiyonunun bozulmasına neden olabilirler (Chaudhry vd., 2008; Momin vd., 2013). NP'ler, kimyasal olarak büyük boyutlardaki parçacıklardan daha reaktiftirler ve insan vücudunda daha fazla biyoyararlanım sağlarlar. Bu durum; toksisiteye neden olabilir, bağışıklık sistemini tehlikeye atabilir ve daha uzun süreli patolojik etkilere neden olabilir (Momin vd., 2013). Bu gibi nedenlerle, gıda bilimi ve ilgili endüstrilerde kullanılacak NM'lerin veya nanoyapıların potansiyel toksisitesini değerlendirmek için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir (Pathakoti vd., 2017).

NT'nin gıda endüstrisine sağladığı birçok avantajın yanı sıra, NM'ler ile ilgili güvenlik sorunları da ihmal edilemez (Singh vd., 2017). Ambalaj malzemesinin yüzeyindeki NP'lerin insan sağlığı için zararlı olmadığı bilinse de, yer değiştirmeleri ve gıdaya entegrasyonu insan sağlığını etkileyebilir (Nile vd., 2020). Nano boyutlu metal parçacıklar içeren yenilebilir film kaplamaların toksisitesi; özellikle metal iyonlarının salınımı ve migrasyonu nedeniyle, taze kesilmiş ürünlerde alerjik reaksiyonları tetikleme potansiyeline sahip olduğundan, kapsamlı bir şekilde incelenmelidir (Xing vd., 2019).

NP'lerin antimikrobiyal etkilerinin altında yatan mekanizmalar oksidatif ve/veya serbest radikal oluşumundan sorumlu stres kaynaklarının üretimlerinden DNA hasarına kadar çeşitlilik göstermekle birlikte tam olarak anlaşılammıştır. Örneğin; CuO NP'leri çeşitli bakterilere karşı etkili antimikrobiyal aktivite sergilerler, ancak Ag veya Zn NP'lerinden daha az antibakteriyel aktiviteye sahiptirler. Bu nedenle istenen antimikrobiyal etkileri elde etmek için daha yüksek konsantrasyonlar gerekir ve bu konsantrasyonlarda CuO NP'leri memeli hücreleri için toksik olabilir (Ren vd., 2009; Esteban-Tejeda vd., 2009; Ruparelia vd., 2008; Ramasamy ve Lee, 2016).

Yenilebilir nanofilmlerin ticarileştirilmesinde de dikkate alınması gereken bazı konular bulunmaktadır. Birincisi, nano yenilebilir filmler, sentetik plastiklere kıyasla daha zayıf bariyer ve mekanik özellikler göstermektedir. İkincisi, yenilebilir film ve kaplamaların üretimi halen laboratuvar düzeyindedir ve yüksek üretim maliyetleri nedeniyle henüz endüstriyel düzeyde yaygınlaşmamıştır. Büyük ölçekli üretim yöntemleri araştırılmalı, yeni ve daha iyi üretim yöntemleri bulmak için çalışmalar gerçekleştirmek gerekmektedir (Jeevahan ve Chandrasekaran, 2019).

5.Sonuç (Conclusion)

Son yıllarda yenilebilir filmlerin; antimikrobiyal, termal, mekanik ve gaz bariyer özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılan NP'ler, birçok çalışmanın konusu olmuştur. NT kullanılarak hazırlanan yenilebilir filmlerin, gıda ambalajı olarak kullanım açısından; iyi birer antibakteriyel, antioksidan, UV-ışık bariyer filmi, uygun nem ve gaz bariyeri, aroma maddelerini ve lezzet bileşenlerini taşıyıcı özelliklere sahip filmler oldukları, çeşitli çalışmalarla tespit edilmiştir.

NM'lerin gelişmiş yapısı ve gıda endüstrisindeki potansiyel faydaları sebebiyle, NT kullanılarak üretilen gıdaların gıda sanayine girişi, gıda sanayinde süregelen çeşitli sorunlara çözümler sağlayacak ve uzun vadeli ekonomik faydalar sunacaktır. Küresel olarak ülkeler, uygun maliyetli geri kazanımlarla verimliliği artırılmış, daha akıllı ve sağlıklı gıdalar üretebilmek için ayarlanabilir özelliklere sahip yenilikçi çözümlere ve bu gıdaların daha iyi korunması için geliştirilmiş depolama özellikleri sunan akıllı paketleme sistemlerine ihtiyaç duymaktadır.

NM'lerin gıdalarda kullanımı, sürdürülebilirlik üzerinde olumlu bir etkiye sahip olacak ve gerekli yasal düzenlemeler doğru şekilde oluşturulursa hem sağlık hem de çevresel açıdan faydalar sağlayacaktır. Bununla birlikte, NT'nin gıda endüstrisinde kullanım için sürekli yeni NM'lerin bulunması nanogıdaların ve nanopaketlemenin güvenliğini değerlendirmeyi daha karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle, nanoteknolojik yöntemlerin yeni ürünler üretmek için yaygın şekilde kullanılmaya başlaması ile birlikte sosyal ve çevresel çıkarların zarar görmemesini sağlamak adına daha fazla bilimsel çalışmaya ihtiyaç vardır. Örneğin, yeni tespit yöntemlerinin geliştirilmesi, insanların gıda endüstrisindeki bu yüksek teknoloji ürünlerden güvenle yararlanabilmeleri için daha doğru bir değerlendirme yapabileme imkanı sunacaktır. İlaveten, yenilebilir nanofilmlerin doğa dostu filmler olması, çevre kirliliğinin önlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu alanda yapılacak çalışmalarla, gıda işleme ve ürün kalitesi iyileştirilerek, insan sağlığı ve refahı açısından arzu edilen

niteliklerde, daha uzun raf ömrüne sahip gıdaların üretilmesi mümkün olacaktır.

Ancak; yenilebilir filmlere NP'lerin eklenmesiyle, gıdaların temel kalite faktörlerinin ne şekilde etkileneceği üzerine daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. NP'lerin gıdaya migrasyonu ve buna bağlı olarak ortaya çıkma potansiyeli olan toksisite riskine yönelik araştırmalar arttırılmalıdır. Ayrıca yenilebilir nanofilmlerin üretiminin laboratuvar çalışmalarıyla sınırlı kaldığı görülmektedir. Gıda güvenliği, insan ve çevre sağlığı açısından yapılması gereken düzenlemelerin yanında; bu filmlerin endüstriyel boyutta üretilmesi ve gıda sanayiinin kullanımına kazandırılması konusunda da çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Sonuç olarak, yenilebilir filmlerin etkinliğini arttırma adına umut verici katkılarının pek çok araştırma ile ortaya koyulduğu bu yeni teknolojinin beraberinde getirmesi muhtemel risklerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik çalışmaların derinleştirilmesi bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında, yenilebilir film alanındaki nanoteknolojik uygulamaların endüstriyel gıda üretim sistemlerine adaptasyonu, bu yöndeki inovasyonların gelecekteki odak noktasını oluşturma potansiyeline sahiptir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (Referances)

- Abdel Ghaffar, A. M., Ali, H. E., Nasef, S. M., El-Bialy, H. A., 2018. Effect of gamma radiation on the properties of crosslinked chitosan nano-composite film. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(8), 3226-3236.
- Ananda, A. P., Manukumar, H. M., Umeha, S., Soumya, G., Priyanka, D., Mohan Kumar, A. S., Savitha, K. R., Krishnamurthy, N. B., 2017. A relook at food packaging for cost effective by incorporation of novel technologies. *Journal of Packaging Technology and Research*, 1(2), 67-85.
- Anitha, A., Rani, V. V. D., Krishna, R., Sreeja, V., Selvamurugan, N., Nair, S. V., Tamura, H., Jayakumar, R., 2009. Synthesis, characterization, cytotoxicity and antibacterial studies of chitosan, O-carboxymethyl and N, O-carboxymethyl chitosan nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 78(4), 672-677.
- Azam, A., Ahmed, A., S., Oves, M., Khan, M., S., Habib, S., S., Memic, A., 2012. Antimicrobial activity of metal oxide NPs against Gram positive and Gram negative bacteria: a comparative study. *Int J. Nanomed.* 7, 6003-6009.
- Bahrami, A., Rezaei Mokarram, R., Sowti Khiabani, M., Ghanbarzadeh, B., Salehi, R., 2019. Physico-mechanical and antimicrobial properties of tragacanth/hydroxypropyl methylcellulose/beeswax edible films reinforced with silver nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129, 1103-1112.
- Bajpai, V., K., Kamle, M., Shukla, S., Mahato, D., K., Chandra, P., Hwang, S., K., Kumar, P., Huh, Y., S., Han, Y., K., 2018. Prospects of using nanotechnology for food preservation, safety, and security. *Journal of Food and Analysis*, 26, 1201-1214.
- Bastarrachea, L., Dhawan, S., Sablani, S., S., 2011. Engineering properties of polymeric-based antimicrobial films for food packaging: a review. *Food Eng Rev*, 3:79e93.
- Baysal, G., Doğan, F., 2020. Investigation and preparation of biodegradable starch-based nanofilms for potential use of curcumin and garlic in food packaging applications. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 31(9), 1127-1143.
- Becerril, R., Nerín, C., Silva, F., 2020. Encapsulation systems for antimicrobial food packaging components: an update. *Molecules*, 25(5), 1134.
- Ben-Shalom, N., Ardi, R., Pinto, R., Aki, C., Fallik, E., 2003. Controlling gray mould caused by *Botrytis cinerea* in cucumber plants by means of chitosan. *Crop Protection*, 22, 285-290.
- Bhuyan, S., Sundararajan, S., Lu, Y., Larock, R., C., 2010. A study of the physical and terminological properties of bio based polymer/clay nanocomposites at different clay concentrations. *Wear*, 268, 797-802.
- Bohlooli, S., Eskandari, S., 2021. An overview on the applications of nanotechnology for improving the safety of food products. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*, 4(1), 90-93.
- Cano, L., Pollet, E., Avérous, L., Tercjak, A., 2017. Effect of TiO₂ nanoparticles on the properties of thermoplastic chitosan-based nano-biocomposites obtained by mechanical kneading. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf*, 93, 33-40.
- Cavaliere, E., De Cesari, S., Landini, G., Riccobono, E., Pallecchi, L., Rossolini, G., M., Gavioli, L., 2015. Highly bactericidal Ag nanoparticle films obtained by cluster beam deposition. *Nanomedicine*, 11(6), 1417-1423.
- Chaichi, M., Hashemi, M., Badii, F., Mohammadi, A., 2017. Preparation and characterization of a novel bionanocomposite edible film based on pectin and crystalline nanocellulose. *Carbohydrate Polymers*, 157, 167-175.
- Chaudhary, P., Fatima, F., Kumar, A., 2020. Relevance of nanomaterials in food packaging and its advanced future prospects. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30:5180-5192.
- Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., Watkins, R., 2008. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Additives and Contaminants*, 25 (3), 241-258.
- Chawla, R., Sivakumar, S., Kaur, H., 2021. Antimicrobial edible films in food packaging: Current scenario and recent nanotechnological advancements-a review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2 (December 2020), 100024.
- Colon, G., Ward, B., C., Webster, T., J., 2006. Increased osteoblast and decreased *Staphylococcus epidermidis* functions on nanophase ZnO and TiO₂. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 78(3), 595-604.
- Condés, M. C., Echeverría, I., Añón, M. C., Mauri, A. N., 2016. Nanocompounds as formulating aids. *Barbosa-Cánovas G. V., López-*

- Caballero, M. E., Gómez-Guillén, M. C., Montero Garcia M. P. (chief ed.), Edible Films and Coatings Fundamentals and Applications, içinde (pp. 616). CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business.
- Çelebi Sezer, Y., Bozkurt, H., 2021. Et ve et ürünlerinin üretimi ve saklanması antimitikrobiyal ambalajlama sistemlerinin kullanımı. *Food and Health*, 7(2), 150-163.
- Das, S., K., Das, A., R., Guha, A., K., 2009. Gold nanoparticles: Microbial synthesis and application in water hygiene management. *Langmuir*, 25: 8192-8199.
- Dash, K. K., Ali, N. A., Das, D., Mohanta, D., 2019. Thorough evaluation of sweet potato starch and lemon-waste pectin based-edible films with nano-titania inclusions for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 449-458.
- Davoodbasha, M., Kim, S., C., Lee, S., Y., Kim, J., W., 2016. The facile synthesis of chitosan-based silver nano-biocomposites via a solution plasma process and their potential antimicrobial efficacy. *Arch. Biochem. Biophys*, 605, 49-58.
- Dholariya, P., K., Borkar, S., Borah, A., 2021. Prospect of nanotechnology in food and edible packaging: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 10(5): 197-203.
- Divya, K., Smitha, V., Jisha, M. S., 2018. Antifungal, antioxidant and cytotoxic activities of chitosan nanoparticles and its use as an edible coating on vegetables. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 572-577.
- Durán, N. and Marcató, P.D., 2013. Nanobiotechnology perspectives. Role of nanotechnology in the food industry: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 48: 1127-1134.
- Esmaili, A., Ebrahimzadeh Fazel, M., 2016. Optimization and preparation of Methylcellulose edible film combined with of *Ferulago angulata* essential oil (FEO) nanocapsules for food packaging applications. *Flavour and Fragrance Journal*, 31(5), 341-349.
- Esteban-Tejeda, L., Malpartida, F., Esteban-Cubillo, A., Pecharromn, C., Moya, J., S., 2009. Antibacterial and antifungal activity of a soda-lime glass containing copper nanoparticles. *Nanotechnology*, 20(50):505701.
- Fang, Y., Fu, J., Tao, C., Liu, P., Cui, B., 2020. Mechanical properties and antibacterial activities of novel starch-based composite films incorporated with salicylic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 1350-1358.
- Farhoodi, M., 2016. Nanocomposite materials for food packaging applications: characterization and safety evaluation. *Food Eng. Rev.*, 8 (1), 35-51.
- Fuente-Salcido, N. M., Alejo-Andrade, A. M., Favela-González, K. M., Marszalek, J. E., 2018. Polymers and nanotechnology, the new face of bioactive edible coatings. *Polymer Research: Communicating Current Advances, Contributions, Applications and Educational Aspects*, November 2018.
- Fulaz, S., Vitale, S., Quinn, L., Casey, E., 2019. Nanoparticle-biofilm interactions: The role of the EPS matrix. *Trends in Microbiology*, Nov;27(11):915-926. DOI: 10.1016/j.tim.2019.07.004
- Galus, S., Arik Kibar, A. E., Gniewosz, M., Krasniewska, K., 2020. Novel materials in the preparation of edible films and coatings-a review. *Coatings*, 10(7), 1-14.
- Han, W., Yu, Y., Li, N., Wang, L., 2011. Application and safety assessment for nano-composite materials in food packaging. *Chinese Science Bulletin*, 56(12), 1216-1225.
- He, X., Deng, H., Hwang, H., 2019. The current application of nanotechnology in food and agriculture. *Journal of Food and Drug Analysis*, 27(1), 1-21.
- Hetrick, E., M., Shin, J., H., Paul, H., S., Schoenfish, M., H., 2009. Anti-biofilm efficacy of nitric oxide-releasing silica nanoparticles. *Biomaterials*, 30, 2782-2789.
- Homayonpour, P., Jalali, H., Shariatifar, N., Amanlou, M., 2021. Effects of nano-chitosan coatings incorporating with free/nano-encapsulated cumin (*Cuminum cyminum* L.) essential oil on quality characteristics of sardine fillet. *International Journal of Food Microbiology*, 341(January).
- Hu, X., Jia, X., Zhi, C., Jin, Z., Miao, M., 2019. Improving the properties of starch-based antimicrobial composite films using ZnO-chitosan nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 210, 204-209.
- Huang, Y., Gu, C., He, S., Zhu, D., Xiuchun, L., Chen, Z., 2020. Development and characterization of an edible chitosan-whey protein nano composite film for chestnut (*Castanea mollissima* Bl.) preservation. *Food Science*, 85(7), 2114-2123.
- Iijima, S., 1991. Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, 354(6348), 56-58.
- Indumathi, M. P., Saral Sarojini, K., Rajarajeswari, G. R., 2019. Antimicrobial and biodegradable chitosan/cellulose acetate phthalate/ZnO nano composite films with optimal oxygen permeability and hydrophobicity for extending the shelf life of black grape fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 1112-1120.
- İşleyici, Ö., Çakmak, T., Sancak, Y., C., Elçek, R., Tuncay, R., M., 2019. Gıda ambalajlarında nanoteknoloji uygulamaları. Ereğli Uluslararası Bilim ve Akademi Kongresi Bildiriler Kitabı, (1), 171-192.
- Jafarzadeh, S., Rhim, J., Alias, A. K., Ariffin, F., Mahmud, S., 2019. Application of antimicrobial active packaging film made of semolina flour, nano zinc oxide and nano-kaolin to maintain the quality of low-moisture mozzarella cheese during low-temperature storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(6), 2716-2725.
- Jeevahan, J., Chandrasekaran, M., 2019. Nanoedible films for food packaging: a review. *Journal of Materials Science*, 54(19), 12290-12318.
- Jones, N., Ray, B., Ranjit, K., T., Manna, A., C., 2008. Antibacterial activity of ZnO nanoparticle suspensions on a broad spectrum of microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, 279(1), 71-76.
- Joye, I. J., Davidov-Pardo, G., McClements, D. J., 2016. Nanotechnology in food processing. Caballero B., Finglas P. M., Fidel T. (chief ed.) *Encyclopedia of Food and Health* içinde (pp. 49-55). UK: Academic Press.
- Kumar, R., Munstedt, H., 2005. Silver ion release from antimicrobial polyamide/silver composites. *Biomaterials*, 26 (14), 2081-2088.
- Kumar, S., Mukherjee, A., Dutta, J., 2020. Chitosan based nanocomposite films and coatings: emerging antimicrobial food packaging alternatives. *Trends in Food Science and Technology*, 97(August 2019), 196-209.
- Lamabam, S. D., Thangjam, R., 2018. Chapter 4-progress and challenges of nanotechnology in food engineering. Grumezescu, A. M., Holban A. M. (chief ed.), *Impact of Nanoscience in the Food Industry Handbook of Food Bioengineering* içinde (pp. 87-112). UK: Academic Press.

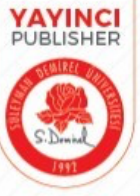
- Lee, K., T., 2010. Quality and safety aspects of meat products as affected by various physical manipulations of packaging materials. *Meat Sci.*, 86(1), 138-50.
- Li, H., Li, F., Wang, L., Sheng, J., Xin, Z., Zhao, L., Xiao, H., Zheng, Y., Hu, Q., 2009. Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba Mill. var. inermis (Bunge) Rehd.*). *Food Chem.*, 114, 547-552.
- Li, H., Wang, J., Liu, H., Zhang, H., Li, X., 2005. Zinc oxide films prepared by sol-gel method. *Journal of Crystal Growth*, 275(1- 2), e943-e946.
- Li, J., H., Hong, R., Y., Li, M., Y., Li, H., Z., Zheng, Y., Ding, J., 2009. Effects of ZnO nanoparticles on the mechanical and antibacterial properties of polyurethane coatings. *Prog. Org. Coat.*, 64, 504-509.
- Li, Y., Rokayya, S., Jia, F., Nie, X., Xu, J., Elhakem, A., Almatrafi, M., Benajiba, N., Helal, M., 2021. Shelf-life, quality, safety evaluations of blueberry fruits coated with chitosan nano-material films. *Scientific Reports*, 11(1), 1-10.
- Li, Y., Tseng, Y., D., Kwon, S., Y., d'Espaux, L., Bunch, J., S., McEuen, P., L., Luo, D., 2004. Controlled assembly of dendrimer-like DNA. *Nature Mater* 3, 38-42.
- Lindström, T., Österberg, F., 2020. Evolution of biobased and nanotechnology packaging-a review. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 35(4), 491-515.
- Malhotra, B. D., & Ali, M. A., 2018. Nanomaterials in biosensors: Fundamentals and applications. *Nanomaterials for Biosensors*, 1-74. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-44923-6.00001-7>.
- Mallakpour, S., Dinari, S., 2012. Treated montmorillonite: structural and thermal properties of chiral poly(amide-imide)/organoclay bionanocomposites containing natural amino acids. *J. Inorg. Organomet. Polym.* 22, 929-937.
- Maneerat, C., Hayata, Y., 2006. Antifungal activity of TiO₂ photocatalysis against *Penicillium expansum* in vitro and in fruit tests. *International Journal of Food Microbiology*, 107(2), 99-103.
- Mao, B. H., Tsai, J. C., Chen, C. W., Yan, S. J., Wang, Y. J., 2016. Mechanisms of silver nanoparticle-induced toxicity and important role of autophagy. *Nanotoxicology*, 10(8), 1021-1040.
- Mihindukulasuriya, S. D. F., Lim, L. T., 2014. Nanotechnology development in food packaging: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 40(2), 149-167.
- Mkandawire, M., Aryee, A. N., 2018. Resurfacing and modernization of edible packaging material technology. *Current Opinion in Food Science*, 19, 104-112.
- Momin, J. K., Jayakumar, C., Prajapati, J. B., 2013. Potential of nanotechnology in functional foods. *Emir J Food Agric*, 25 (1): 10- 19.
- Moore, M. N., 2006. Do nanoparticles present ecotoxicological risks for the health of the aquatic environment. *Environ Int*, 32, (8): 967-976.
- Morones, J. R., Elechiguerra, J. L., Camacho, A., Holt, K., Kouri, J. B., Ramírez, J. T., Yacaman, M. J., 2005. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*, 16(10), 2346.
- Nasab, M. S., Tabari, M., Bidarigh, S., 2019. Antifungal activity of nano-composite films-based poly lactic acid. *Nanomedicine Research Journal*, 4(3), 186-192.
- Nile, S. H., Baskar, V., Selvaraj, D., Nile, A., Xiao, J., Kai, G., 2020. Nanotechnologies in food science: applications, recent trends, and future perspectives. *Nano-Micro Letters*, 12(1), 1-34.
- Pathakoti, K., Manubolu, M., Hwang, H. M., 2017. Nanostructures: current uses and future applications in food science. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(2), 245-253.
- Pirsa, S., Farshchi, E., Roufegarinejad, L., 2020. Antioxidant/antimicrobial film based on carboxymethyl cellulose/gelatin/TiO₂-Ag nano-composite. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(12), 3154-3163.
- Primožič, M., Knez, Ž., Leitgeb, M., 2021. (Bio)nanotechnology in food science-food packaging. *Nanomaterials*, 11(2), 1-31.
- Qiao, G., Xiao, Z., Ding, W., Rok, A., 2019. Effect of chitosan/nano-titanium dioxide/thymol and tween films on ready-to-eat cantaloupe fruit quality. *Coatings*, 9(12), 828.
- Qin, Y., Zhang, S., Yu, J., Yang, J., Xiong, L., Sun, Q., 2016. Effects of chitin nano-whiskers on the antibacterial and physicochemical properties of maize starch films. *Carbohydrate Polymers*, 147, 372-378.
- Radusin, T., Ristic, I., Pilic, B., Novakovic, A., 2016. Antimicrobial nanomaterials for food packaging applications. *Food and Feed Research*, 43(2), 119-126.
- Rahman, P. M., Mujeeb, V. M. A., Muraleedharan, K., 2017. Flexible chitosan-nano ZnO antimicrobial pouches as a new material for extending the shelf life of raw meat. *International Journal of Biological Macromolecules*, 97, 382-391.
- Ramasamy, M., Lee, J., 2016. Recent nanotechnology approaches for prevention and treatment of biofilm-associated infections on medical devices. *BioMed Research International*, 2016, 17.
- Ren, G., Hu, D., Cheng, E., W., C., Vargas-Reus, M., A., Reip, P., Allaker, R., P., 2009. Characterisation of copper oxide nanoparticles for antimicrobial applications. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 33(6), 587-590.
- Ribeiro, A. M., Estevinho, B. N., Rocha, F., 2021. Preparation and incorporation of functional ingredients in edible films and coatings. *Food and Bioprocess Technology*, 14(2), 209-231.
- Roy, S., Rhim, J. W., 2020. Effect of CuS reinforcement on the mechanical, water vapor barrier, UV-light barrier, and antibacterial properties of alginate-based composite films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 37- 44.
- Ruparelia, J., P., Chatterjee, A., K., Duttagupta, S., P., Mukherji, S., 2008. Strain specificity in antimicrobial activity of silver and copper nanoparticles. *Acta Biomaterialia*, 4(3), 707-716.
- Salami-Kalajahi, M., Haddadi-Asl, V., Roghani-Mamaqani, H., 2012. Study of kinetics and properties of polystyrene/silica nanocomposites prepared via in situ free radical and reversible addition-fragmentation chain transfer polymerizations. *Sci. Iran*. 19(6), 2004-2011.
- Sami, R., Almatrafi, M., Elhakem, A., Alharbi, M., Benajiba, N., Helal, M., 2021. Effect of nano silicon dioxide coating films on the quality characteristics of fresh-cut cantaloupe. *Membranes*, 11(2), 1-10.
- Sani, I. K., Pirsa, S., Taği, Ş., 2019. Preparation of chitosan/zinc oxide/*Melissa officinalis* essential oil nano-composite film and evaluation of physical, mechanical and antimicrobial properties by response surface method. *Polymer Testing*, 79, 106004.
- Shahabi-Ghahfarrokhi, I., Khodaiyan, F., Mousavi, M., Yousefi, H., 2015. Preparation of UV-protective kefir/nano-ZnO nanocomposites: Physical and mechanical properties. *Int. J. Biol. Macromol.*, 72, 41-46.
- Shakeel, A., Annu, S., I., Salprima, Y., S., 2016. Biosynthesis of gold nanoparticles: A green approach. *Journal of Photochemistry*

- Photobiology B, 161: 141-153.
- Shankar, S., Wang, L. F., Rhim, J. W., 2018. Incorporation of zinc oxide nanoparticles improved the mechanical, water vapor barrier, UV-light barrier, and antibacterial properties of PLA-based nanocomposite films. *Materials Science and Engineering C*, 93, 289-298.
- Sharma, C., Dhiman, R., Rokana, N., Panwar, H., 2017. Nanotechnology: an untapped resource for food packaging. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1735.
- Shekarabi, A. S., Davachi, S. M., 2018. Characterization a novel antimicrobial nano composite edible film based on *Salvia macrosiphon*. *ETP International Journal of Food Engineering*, 4(4), 337-340.
- Shi, L., E., Li, Z., H., Zheng, W., Zhao, Y., F., Jin, Y., F., Tang, Z., X., 2014. Synthesis, antibacterial activity, antibacterial mechanism and food applications of ZnO NPs: a review. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Expo Risk Assess*, 31(2), 173- 186.
- Singh, R., Smitha, M., S., Singh, S., P., 2014. The role of nanotechnology in combating multi-drug resistant bacteria. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 14, 1-12.
- Singh, T., Shukla, S., Kumar, P., Wahla, V., Bajpai, V. K., 2017. Application of nanotechnology in food science: perception and overview. *Frontiers in Microbiology*, 8(August), 1-7.
- Sondi, I., Salopek-Sondi, B., 2004. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for Gram- negative bacteria. *Journal of Colloid and Interface Science*, 275(1), 177-182.
- Şahin, M., 2020. Değerli metal içeren nanoparçacıkların sentezi, karakterizasyonu ve kataliz uygulamaları, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Tjong, S. C., 2006. Structural and mechanical properties of polymer nanocomposites, *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 53(3-4), 73-197.
- Wahab, A., Rahim, A., A., Hassan, S., Egbuna, C., Manzoor, M., F., Okere, K., Walag, A., M., P., 2021. Chapter 10 - Application of nanotechnology in the packaging of edible materials. Editor(s): Egbuna, C., Mishra, A., P., Goyal, M., R. *Preparation of Phytopharmaceuticals for the Management of Disorders içinde* (pp 215-225). Academic Press, ISBN 9780128202845.
- Weiss, J., Takhistov, P., McClements, D. J., 2006. Functional materials in food nanotechnology. *Journal of Food Science*, 71(9), 107-116.
- Whitesides, G., 2005. Nanoscience, nanotechnology, and chemistry. *Small* 1, 172-179.
- Xiao, J., Gu, C., Zhu, D., Huang, Y., Luo, Y., Zhou, Q., 2021. Development and characterization of an edible chitosan/zein-cinnamaldehyde nano-cellulose composite film and its effects on mango quality during storage. *Lwt*, 140, 110809.
- Xing Y, Li W, Wang Q, Li X, Xu Q, Guo X, Bi X, Liu X, Shui Y, Lin H, Yang H., 2019. Antimicrobial nanoparticles incorporated in edible coatings and films for the preservation of fruits and vegetables. *Molecules*, 24(9):1695.
- Yemmireddy, V., K., Hung, Y., C., 2015. Effect of binder on the physical stability and bactericidal property of titaniumdioxide (TiO₂) nanocoatings on food contact surfaces. *Food Control*, 57, 82-88.
- Yin, H., Tsai, W., 2015. *Advances of nanomaterials for food processing*. Cheung, P. C. K., Mehta B. M. (Ed.) *Handbook of Food Chemistry içinde* (pp. 1137-1159). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Yoksan, R., Chirachanchai, S., 2010. Silver nanoparticle-loaded chitosan-starch based films: fabrication and evaluation of tensile, barrier and antimicrobial properties. *Materials Science & Engineering C*, 30(6), 891-897.
- Youssef, A. M., El-Sayed, S. M., 2018. Bionanocomposites materials for food packaging applications: concepts and future outlook. *Carbohydrate Polymers*, 193(February), 19-27.
- Zambrano-Zaragoza, M. L., González-Reza, R., Mendoza-Muñoz, N., Miranda-Linares, V., Bernal-Couoh, T. F., Mendoza-Elvira, S., Quintanar-Guerrero, D., 2018. Nanosystems in edible coatings: a novel strategy for food preservation. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(3).
- Zhang, R., Wang, X., Wang, J., Cheng, M., 2019. Synthesis and characterization of Konjac glucomannan/Carrageenan/nano- silica films for the preservation of postharvest white mushrooms. *Polymers*, 11(1), 6.

MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ve TASARIM DERGİSİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES AND DESIGN

e-ISSN: 1308-6693



Düzeltilme / *Corrigendum*

A NOVEL BI-OBJECTIVE MODEL FOR A MULTI-PERIOD MULTI-PRODUCT CLOSED-LOOP SUPPLY CHAIN

Nadi Serhan AYDIN*

Department of Industrial Engineering, Istinnye University, Istanbul, Turkey

Keywords

*Closed-loop supply chain,
Multi-objective model,
Mixed-integer model,
Goal attainment method,
Sensitivity analysis.*

Abstract

Closed-loop supply chain (CLSC) is a kind of supply chain which contains forward and backward flows of commodities within a logistics network. In the decision-making process of CLSC, locational, inventory control and transportation issues are addressed to deal with strategic, tactical and operational decisions. This paper utilizes a novel bi-objective mixed-integer linear programming (MILP) model to formulate a multi-period multi-product CLSC design problem considering aggregate cost minimization and service level maximization at the same time. To tackle the bi-objectiveness of the model, goal attainment method (GAM) is applied which is then executed by Gurobi Python API to test the applicability of the suggested model for three different scales (small, medium and large). It is demonstrated that the proposed methodology can find the optimal solutions for different problems in a maximum of 500 seconds. Finally, a set of sensitivity analyses is carried out on the main parameters in order to test the behaviors of the objective functions and suggest managerial insights as well as decision aids. The results reveal that the model is highly dependent on the demand parameter, that is, an increase in demand is closely related to an increase in the aggregate cost and a simultaneous downward trend in the service level.

ÇOK PERİYOTLU ÇOK ÜRÜNLÜ KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ İÇİN YENİ BİR ÇİFT-AMAÇLI MODEL

Anahtar Kelimeler

*Kapalı-döngü tedarik ağı,
Çok amaçlı model,
Karmaşık-tamsayılı model,
Hedefe ulaşma yöntemi,
Duyarlılık analizi.*

Öz

Kapalı döngü tedarik zinciri (KDTZ), bir lojistik ağ içinde ürünlerin ileri ve geri akışlarını içeren bir tür tedarik zinciridir. KDTZ'nin karar verme sürecinde, stratejik, taktik ve operasyonel kararlarla başa çıkmak için lokasyon, envanter kontrolü ve taşıma konuları ele alınmaktadır. Bu araştırma, aynı anda hem toplam maliyet minimizasyonu hem de hizmet seviyesi maksimizasyonu dikkate alınarak çok periyotlu ve çok ürünlü bir CLSC tasarım problemini formüle etmek için yeni bir çift-amaçlı karma tamsayılı doğrusal programlama (KTDP) modelini kullanmaktadır. Modelin iki yönlülüğünü sağlamak adına hedefe ulaşma yöntemi (GAM) kullanılmış ve daha sonra Gurobi Python API kullanılarak önerilen modelin üç farklı ölçekteki (küçük, orta ve büyük) problemler üzerinde uygulanabilirliği test edilmiştir. Önerilen metodolojinin farklı problemler için en uygun çözümleri maksimum 500 saniyede bulabildiği gösterilmiştir. Son olarak, amaç fonksiyonlarının davranışlarını değerlendirmek ve yönetimsel öngörüler ve karar destek çıkarımları sağlamak için anahtar parametreler üzerinde bir dizi duyarlılık analizi yapılmaktadır. sonuçlar modelin talep parametresine yüksek oranda bağlı olduğunu göstermektedir. Öyle ki, talepteki bir artış toplam talepteki artışla ve aynı anda servis seviyesinde görülen aşağı yönlü trendle yakında ilişkilidir.

Alıntı / Cite

* ilgili yazar / Corresponding author: serhan.aydin@istinnye.edu.tr, +90-850-283-6000

Aydin, N. S. (2023). A Novel Bi-Objective Model For A Multi-Period Multi-Product Closed-Loop Supply Chain, Journal of Engineering Sciences and Design, Corrigendum, 11(1), 426-432.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
Nadi Serhan Aydin, 0000-0002-1453-0016	Başvuru Tarihi / Submission Date	23.09.2021
	Revizyon Tarihi / Revision Date	22.10.2021
	Kabul Tarihi / Accepted Date	11.02.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	20.03.2022
	Düzeltilme Tarihi / Corrigendum Date	23.02.2023
	Onay Tarihi / Approved Date	10.03.2023
	Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

1. Corrigendum

Upon feedbacks from some critical readers of the present article titled “A Novel Bi-Objective Model For A Multi-Period Multi-Product Closed-Loop Supply Chain”, the authors regrets to notice that some of the mathematical model constraints needed correction, which also required some modifications to the model variables as well as inclusion of new ones. The reader can find the corrections below.

1.1. Abstract

Due to the changes we've made in the model, we need to update the runtime-related statement in the abstract that reads “a maximum of 500 seconds.” to “less than a second”.

1.2. Mathematical model

1.2.1. Parameters

We make changes to, and add, the following model parameters:

GI_{kd} : Unit holding cost of product k at distribution center d for one time period,

GB_{kc} : Unit shortage cost of product k for customer c for one time period,

$IV_{0_{kd}}$: Initial inventory level of product k at distribution center d at the beginning of planning period,

$BL_{0_{kdc}}$: Initial backlog level of product k at distribution center d for customer c at the beginning of planning period

M : A sufficiently large number.

1.2.2. Variables

We need to modify the definitions of the following two variables as given below:

IV_{kat} : Level of inventory for product k in distribution center d at the end of period t ,

BL_{kadct} : Change in backlogged demand for customer c for product k in distribution center d in period t .

We also introduce the following three variables to make our objective function values more accurate:

BLP_{kadct} : Positive change in backlogged demand for customer c for product k in distribution center d in period t (newly backlogged items).

BLN_{kadct} : Negative change in backlogged demand (amount of backlogs fulfilled) for customer c for product k in distribution center d in period t .

CBL_{kct} : Level of backlogged demand for customer c for product k at the end of period t .

The cumulative backlog variable will be incorporated into objective one, whereas the positive change in backlog variable will help us keep track of the newly backlogged items objective two.

1.2.3. Objective functions

In the first objective function given by Eq. (1), we change the term related to backlog cost to the following to reflect the latest changes in variables. Use of cumulative backlogs instead of just periodic backlogs ensures that backlogs are penalized repeatedly as long as they are maintained.

$$\sum_{k \in K} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} GB_{kc} CBL_{kct} \tag{1}$$

Our second objective function given by Eq. (2), service level should have been defined as the proportion of demand that is fulfilled “on time” after considering any shortages (or, backorders) in distribution centers. Accordingly, Eq. (2) should be modified as:

$$\max SL = 1 - \frac{\sum_{d \in D} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} BLP_{kdct}}{\sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{c \in C} DM_{ckt}} \tag{2}$$

to more accurately reflect the backlogged proportion of the periodic demand. Since we now monitor net changes in backlogs in each period, the inclusion of the net increase in backlogs in Eq. (2), instead of just backlogs earlier, gives a more accurate figure of the proportion of demand backlogged in each period.

1.2.4. Constraints

We now introduce a missing constraint as Constraint (5) that takes care of the establishment decisions related to the distribution centers and the numberings for Constraints (5)-(11) should be updated accordingly as Constraints (6)-(12).

$$\sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} YB_{dckt} \leq MZA_d \quad \forall d \in D, \tag{5}$$

In Constraint (12), we need an equality instead of \leq to ensure no inventory at plants. Accordingly, Constraint (12) can be better expressed by stating that “it ensures that the amount of products sent from a manufacturing facility to distribution centers in a certain period equals the amount produced in that facility.”

$$\sum_{d \in D} YA_{kpdt} = X_{kpt} \quad \forall p \in P, k \in K, t \in T, \tag{12}$$

We need to remove the existing Constraint (12) below, because Constraints (17)-(18) already capture the balance in the physical flow of goods. Backorders should not be included in Constraints (17)-(18) below, as suggested by one reader, because they do not represent physical flows and their net impact is already captured in YB through a deviation from the demand. So, we have to remove,

$$\sum_{c \in C} YB_{kdct} \leq \sum_{p \in P} YA_{kpdt} \quad \forall d \in D, k \in K, t \in T, \tag{12}$$

In Constraint (16), we now update the backorder term to incorporate the index c for customers and ensure that the total amount of products transported from distribution facilities to a customer during each time period plus the net backorder in that period (can be positive or negative) is equal to the demand by that customer. Constraint (17) needs to be added to define BL_{kdct} .

$$\sum_{d \in D} (YB_{kdct} + BL_{kdct}) = DM_{ckt} \quad \forall c \in C, k \in K, t \in T. \tag{16}$$

$$\sum_{d \in D} BL_{kdct} = \sum_{d \in D} (BLP_{kdct} - BLN_{kdct}) \quad \forall c \in C, k \in K, t \in T. \tag{17}$$

We must also emphasize that we don’t restrict the total amount transfers for a specific product from distribution centers to a customer over the planning period to be equal to total demand from that customer (i.e., eventual backlogs are allowed at a cost).

We once again emphasize that backorders are not included in Constraints (18)-(19) below as they are not physical flows and their effects on YB have already been reflected through Constraint (16). The new Constraint (20), on the other hand, defines the cumulative backlog for customer c and product k by the end of period t .

$$IV0_{kd} + \sum_{p \in P} YA_{kpd} - \sum_{c \in C} YB_{kdct} = IV_{kdt} \quad \forall k \in K, d \in D, t \in \{1\}, \tag{18}$$

$$IV_{kd(t-1)} + \sum_{p \in P} YA_{kpd} - \sum_{c \in C} YB_{kdct} = IV_{kdt} \quad \forall k \in K, d \in D, t \in \{2, 3, \dots, \bar{t}\}, \tag{19}$$

$$CBL_{kct} = \sum_{t'=1}^t BL_{kdct'} = \sum_{t'=1}^t (BLP_{kdct'} - BLN_{kdct'}) \quad \forall c \in C, k \in K, t \in T, \tag{20}$$

Finally, we have to include our new variables in restrictions (21) and (22):

$$BLP_{kdct}, BLN_{kdct}, CBL_{kct} \in \mathbb{R}^+, BL_{kdct} \in \mathbb{R} \quad \forall d \in D, k \in K, c \in C, t \in T. \tag{22}$$

1.3. The solution method: GAM

In using the GAM method, where $f_1(x) = AC$ and $f_2(x) = SL$ as given in Eqs. (1) and (2), respectively, we have to modify the GAM constraints in a way that optimal value the variable φ is calculated in a more consistent way. Specifically, since SL assumes percentage values whereas AC absolute ones, to improve GAM algorithm, we needed to modify the unscaled GAM model for the objective functions to reflect the percentage deviations from supreme values by introducing $g_1(x) = f_1(x)/u_1^* - 1$ and $g_2(x) = u_2^* - f_2(x)$. Eventually, the single-objective model that results from GAM is now represented as follows:

$$\min Z_{GAM} = \varphi \tag{23}$$

$$g_1(x) - w_1\varphi \leq 0 \tag{24}$$

$$g_2(x) - w_2\varphi \leq 0 \tag{25}$$

where φ is a free scalar variable, subject to constraints (3)-(22). We should have also made it clear that the choice of $(w_1, w_2)=(0.6, 0.4)$ is arbitrary.

1.4. Experimental results

We implement the modified model on a Intel(R) Xeon(R) CPU @ 2.20GHz processor. Another error was the presentation of parameters in Table 2 as random values from uniform distribution, which resulted from an earlier implementation of the model using GAMS software that accepts ranges for parameters. The correct table should be as below.

Table 2. Input parameters of the mathematical model.

Parameter	Value	Parameter	Value	Parameter	Value
<i>DM</i>	120	<i>IVO</i>	300	<i>FA</i>	15
<i>CA</i>	1500	<i>BLO</i>	0	<i>FB</i>	3.5
<i>CB</i>	350	δ	300	<i>FC</i>	3.5
<i>CC</i>	550	<i>TA</i>	7	<i>FD</i>	3.5
<i>CD</i>	550	<i>TB</i>	7	<i>FE</i>	3.5
<i>CE</i>	550	<i>TC</i>	7	<i>DA</i>	30
<i>LA</i>	150000	<i>TD</i>	7	<i>DB</i>	30
<i>LB</i>	150000	<i>TE</i>	7	<i>DC</i>	30
<i>LC</i>	150000	<i>TF</i>	7	<i>DD</i>	30
<i>LD</i>	150000	α	0.15	<i>DE</i>	30
<i>GI</i>	1.5	β	0.3	<i>DF</i>	30
<i>GB</i>	2500				

Due to the changes we've made to the model, the computational results, including the runtimes, as well as sensitivity results also had to be updated (see Tables 3, 4 and Figures 2, 3, 4, 5). We also did not emphasize that the results presented in tables and figures (except for Figure 2) were actually for Problem 1.

Table 3. Computational results obtained for the proposed methodology

Problem	Z_{GAM}	u_1^* (*10 ⁶)	u_2^*	AggregateCost	ServiceLevel	Runtime (s)
#1	0.011	2.90	0.833	2.92	0.8289	0.011
#2	0.005	24.61	0.708	24.68	0.7065	0.122
#3	0.002	105.97	0.667	106.12	0.6657	0.659

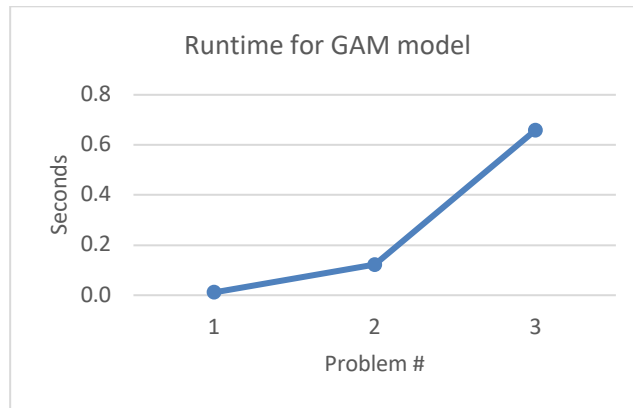


Fig. 2. Run time comparison of different problems

Table 4. Results of the sensitivity analyses

DM_{ckt}	-20%	-10%	0%	+10%	+20%
AC (*10 ⁶)	2.44	2.68	2.92	3.18	3.54
SL	0.994	0.920	0.829	0.754	0.691
α_{kct}	-20%	-10%	0%	+10%	+20%
AC (*10 ⁶)	2.87	2.89	2.92	2.95	2.98
SL	0.833	0.832	0.829	0.826	0.824
β_{kit}	-20%	-10%	0%	+10%	+20%
AC (*10 ⁶)	2.916	2.920	2.924	2.928	2.931
SL	0.830	0.829	0.829	0.829	0.828

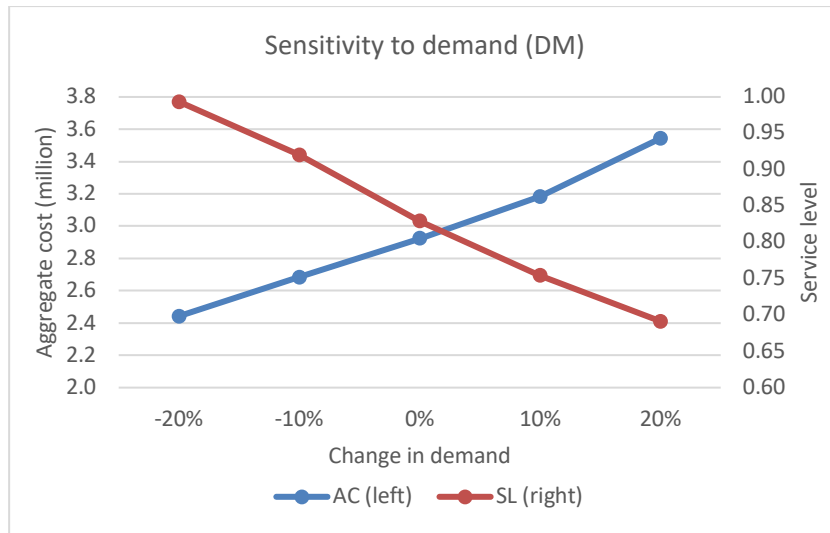


Figure 3. Sensitivity analysis for DM_{ckt} .

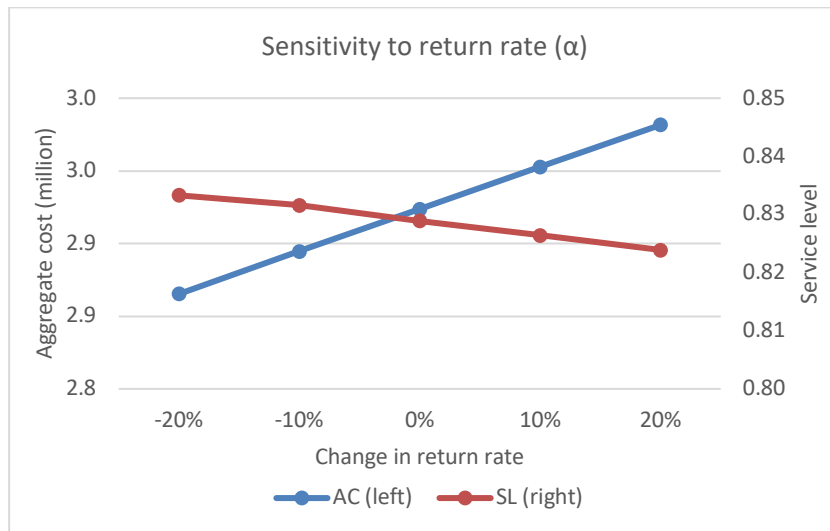


Figure 4. Sensitivity analysis for α_{ckt} .

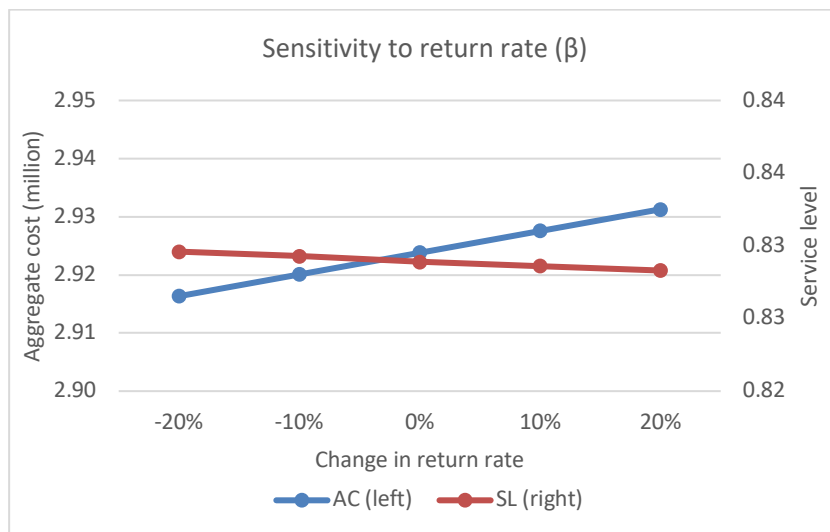


Figure 5. Sensitivity analysis for β_{kit} .

2. Editorial Review

The corrigendum is approved for publishing.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

No new references were used.